

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 164

Première édition — First edition

1964

Recommandations dans le domaine des grandeurs et unités utilisées en électricité

Recommendations in the field of quantities and units used in electricity



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

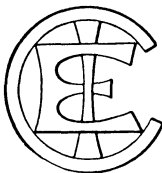
Publication 164

Première édition — First edition

1964

Recommandations dans le domaine des grandeurs et unités utilisées en électricité

Recommendations in the field of quantities and units used in electricity



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
SECTION UN — Exposé historique concernant les grandeurs et unités électriques et magnétiques	10
SECTION DEUX — Liste des recommandations adoptées par la CEI jusqu'à présent	38
SECTION TROIS — Bibliographie sommaire	52
ANNEXE — Résolutions adoptées par la Conférence Générale des Poids et Mesures dans le domaine des grandeurs et unités utilisées en électricité	54

Withdrawn

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
SECTION ONE — The history of electric and magnetic quantities and units	11
SECTION TWO — Recommendations of the IEC adopted up to date	38
SECTION THREE — Brief bibliography	53
APPENDIX — Resolutions of the General Conference on Weights and Measures concerning electric and magnetic quantities and units	55

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**RECOMMANDATIONS DANS LE DOMAINE
DES GRANDEURS ET UNITÉS UTILISÉES EN ÉLECTRICITÉ**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager cette unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la CEI dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

Le texte de cette publication a été préparé à la suite d'une décision prise par le Comité d'Etudes N° 24 lors de la réunion qu'il a tenue à Madrid en juillet 1959. Un projet de texte soumis par Monsieur Charles Dietsch, Secrétaire du Comité d'Etudes N° 24, avait été présenté à cette réunion.

Au cours de celle-ci, le Comité a pris la décision d'utiliser ce projet comme texte de base en vue de l'élaboration d'une publication de la CEI contenant l'ensemble des recommandations adoptées par la CEI dans le domaine des grandeurs et unités électriques et magnétiques.

Un Comité de rédaction fut chargé de préparer le texte de cette publication aux fins de soumission à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois.

Ce Comité de rédaction prit en considération les observations reçues par le Secrétariat de tous les Comités nationaux ayant répondu à la demande formulée dans le compte rendu des réunions de Madrid ainsi que des remarques transmises au Secrétariat par les personnalités suivantes consultées, conformément aux décisions prises à Madrid par le Comité d'Etudes N° 24 :

- | | |
|--------------------------------|--|
| — Monsieur P. Fleury, | Secrétaire Général de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée, |
| — Monsieur H. de V. Heathcote, | du département Histoire et Philosophie de la Science de l'Université de Londres, |
| — Monsieur A. Pérard, | Directeur Honoraire du Bureau International des Poids et Mesures, |
| — Monsieur F.B. Silsbee, | du National Bureau of Standards de Washington, |
| — Monsieur Volet, | Directeur du Bureau International des Poids et Mesures. |

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

RECOMMENDATIONS IN THE FIELD OF
QUANTITIES AND UNITS USED IN ELECTRICITY

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote this international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the IEC recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

The essay contained in this publication has been prepared in accordance with a decision taken by Technical Committee No. 24 in Madrid in July 1959. A draft prepared by M. Charles Dietsch, Secretary of TC 24, had been submitted to that meeting.

During the Madrid meeting, the Committee decided to use this draft as the basis of an IEC Publication containing a collection of the recommendations which have been adopted by the IEC in the field of electric and magnetic quantities and units.

An Editing Committee was entrusted with the preparation of the text of this publication with a view to its being submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule.

This Editing Committee took into consideration the comments received by the Secretariat from the National Committees which replied to the request made in the Minutes of the Madrid meeting, as well as comments sent to the Secretariat by the following persons, who had been consulted in accordance with the decision taken in Madrid by TC 24:

- | | |
|---------------------------|--|
| — Mr. P. Fleury, | General Secretary of the International Union for Pure and Applied Physics, |
| — Mr. H. de V. Heathcote, | of the Department of History and Philosophy of Science in the University of London, |
| — Mr. A. Pérard, | Honorary Director of the Bureau International des Poids et Mesures (International Bureau of Weights and Measures), |
| — Mr. F.B. Silsbee, | of the National Bureau of Standards in Washington, |
| — Mr. Volet, | Director of the Bureau International des Poids et Mesures (International Bureau of Weights and Measures). |

Le projet définitif fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en octobre 1962.

Les pays suivants se sont prononcés en faveur de la publication :

Afrique du Sud	Pays-Bas
Allemagne	Pologne
Autriche	Portugal
Belgique	Royaume-Uni
Canada	Suède
Danemark	Suisse
Etats-Unis d'Amérique	Tchécoslovaquie
France	Turquie
Italie	Union des Républiques Socialistes Soviétiques.
Norvège	

Withdrawn

The final draft for this publication was circulated to all National Committees for approval under the Six Months' Rule in October 1962.

The following National Committees voted explicitly in favour of publication :

Austria	Poland
Belgium	Portugal
Canada	South Africa
Czechoslovakia	Sweden
Denmark	Switzerland
France	Turkey
Germany	Union of Soviet Socialist Republics
Italy	United Kingdom
Netherlands	United States of America.
Norway	

Withdrawn

RECOMMANDATIONS DANS LE DOMAINE DES GRANDEURS ET UNITÉS UTILISÉES EN ÉLECTRICITÉ

INTRODUCTION

L'histoire concernant les grandeurs et unités électriques et magnétiques n'ayant jamais été faite de manière complète et officielle par un Organisme International de Normalisation, la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) a pris la décision d'éditer une publication contenant l'ensemble des décisions prises dans ce domaine et plus spécialement par le Comité spécialisé ou les commissions d'études de la CEI.

Cependant, il ne paraît guère équitable de dissocier l'œuvre de la CEI dans le domaine des grandeurs et unités électriques et magnétiques de celle ayant un caractère fondamental, réalisée par les Institutions et Organismes tant nationaux qu'internationaux qui l'ont précédée et qui depuis sa création et jusqu'à ce jour travaillent en étroite collaboration avec son Comité d'Etudes spécialisé *.

Cet exposé historique fait l'objet de la première partie de la présente publication.

* Comité d'Etudes N° 24 : Grandeurs et unités électriques et magnétiques.

Organisme internationaux avec lesquels la CEI collabore actuellement ou avec lesquels elle se tient en liaison étroite:

- a) Conférence Générale des Poids et Mesures (C.G.P.M.) son Comité International des Poids et Mesures et en particulier son Comité Consultatif d'Electricité.
- b) Union Internationale de Physique Pure et Appliquée (U.I.P.P.A.) et en particulier sa Commission de Symboles, Unités et Nomenclature (S.U.N.).
- c) Organisation Internationale de Normalisation (ISO) et plus spécialement son Comité d'Etudes ISO/TC 12 : Grandeurs, Unités, Symboles, Facteurs de conversion et tables de conversion.
- d) Organisation Internationale de Métrologie légale (O.I.M.L.).

RECOMMENDATIONS IN THE FIELD OF QUANTITIES AND UNITS USED IN ELECTRICITY

INTRODUCTION

No complete and authoritative history of electric and magnetic magnitudes and units has hitherto been published. The International Electrotechnical Commission (IEC) has therefore decided to publish a collection of the decisions that have been taken in this field by its specialist Committee concerned with the subject and by other associated bodies.

A fair appreciation of the subject, and of the work of the IEC on it, requires an account of the basic work carried out by other institutions and organisations, both national and international, that collaborated with the IEC from the outset, and some of which preceded it *.

This history forms the first part of the present publication.

* Technical Committee No. 24: Electric and magnetic magnitudes and units.

International organisations with which the IEC is collaborating at the present time or with which it maintains a close contact:

- a) Conférence Générale des Poids et Mesures (C.G.P.M.)
(General Conference on Weights and Measures), its Comité International des Poids et Mesures (International Committee on Weights and Measures) and in particular its Comité Consultatif d'Electricité (Advisory Committee on Electricity).
- b) International Union of Pure and Applied Physics (I.U.P.A.P.) and in particular its Commission for Symbols, Units and Nomenclature (S.U.N.).
- c) International Organisation for Standardization (ISO) and more particularly its Technical Committee ISO/TC 12: Quantities, Units, Symbols, Conversion Factors and Conversion tables.
- d) Organisation Internationale de Métrologie Légale (O.I.M.L.)
(International Organisation for Legal Metrology).

SECTION UN

EXPOSÉ HISTORIQUE CONCERNANT LES GRANDEURS ET UNITÉS ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES

Sans remonter trop loin dans le temps, il convient de mentionner en tout premier lieu l'œuvre de l'Association Britannique pour l'Avancement des Sciences dont les décisions adoptées en 1862 ont fait l'objet d'une réimpression en 1913. (4)

C'est en 1862 que la « British Association » nomme la première Commission ayant pour mission d'étudier les unités électriques. Cette Commission comprenait de nombreux physiciens de divers pays, tous de réputation mondiale, ce qui lui conférait outre un caractère incontestablement international, celui d'une compétence indiscutable.

Un des premiers résultats très réussis de cette Commission a été atteint en 1863 sur l'initiative de W. Thomson, ultérieurement Lord Kelvin. Il consistait dans l'adoption du système basé sur les trois unités fondamentales, le mètre, le gramme et la seconde. Lorsqu'en 1873, le centimètre remplaça le mètre, le système fut désigné sous le nom de système C.G.S. universellement utilisé jusqu'à l'introduction, au début du siècle, des unités M.K.S.A. Ce système est encore très largement utilisé à l'heure actuelle par les physiciens.

Ultérieurement, cette Commission décide également l'adoption d'unités pratiques obtenues en multipliant par des puissances entières de dix convenables les unités absolues C.G.S. électromagnétiques. C'est ainsi que l'unité pratique de résistance était l'ohm défini par Maxwell en 1868 comme étant égal à 10^7 mètres par seconde. Cet ohm était représenté par la résistance d'une colonne de mercure de 1 mètre de longueur et de 1 mm^2 de section. Après l'adoption du système C.G.S., la Commission a redéfini l'ohm comme étant égal à 10^9 unités C.G.S. électromagnétiques. Cette valeur était très voisine de celle de l'unité de résistance désignée à cette époque en Allemagne sous le nom de Siemens *.

L'unité pratique de force électromotrice était le volt égal à 10^8 unités électromagnétiques C.G.S., valeur très voisine de la valeur de la force électromotrice de l'élément Daniel très utilisé à l'époque dans les divers laboratoires comme unité de force électromotrice. Kelvin depuis 1860 s'en servait couramment pour exprimer les différences de potentiel.

Après avoir rappelé brièvement le rôle très important joué par la British Association, il paraît opportun de s'étendre un peu plus longuement sur l'œuvre des six Congrès internationaux qui, de 1881, date du premier Congrès, à 1904, date du dernier Congrès, celui-ci ayant précédé d'ailleurs de peu la naissance de la CEI, ont contribué largement à assurer l'unification des unités électriques et magnétiques.

Les savants ayant participé au Congrès de 1881 ont, dès cette époque, agi avec une très grande prudence, évitant de prendre des décisions hâtives qu'il faut ensuite annuler mais, en même temps, ils ont su être assez audacieux et suffisamment prévoyants pour n'être devancés à aucun moment par le progrès évitant ainsi, d'une part, de laisser l'usage prendre le pas sur la raison et d'autre part, que de trop nombreux appareils de mesure soient construits sur des bases arbitraires.

* Note. — Le nom de Siemens a depuis été attribué par la CEI à l'unité de conductance dans le système Giorgi (1935).

SECTION ONE

THE HISTORY OF ELECTRIC AND MAGNETIC QUANTITIES AND UNITS

Without going too far back into the past it is appropriate to mention first and foremost the work of the British Association for the Advancement of Science, some of whose decisions reached in 1862 were republished in 1913. (4)

It was in 1862 that the British Association appointed the first Commission entrusted with the task of studying electrical units. This Commission consisted of physicists with world-wide reputations from various countries, which gave it an undeniably international and authoritative character.

One of the first achievements of this Commission was in 1863. It was the result of the initiative of W. Thomson, later Lord Kelvin, and consisted in the adoption of the system based on the three fundamental units: the metre, the gramme and the second. When in 1873, the centimetre replaced the metre, the system was given the name C.G.S. system. Its use was universal until the introduction at the beginning of the present century of the M.K.S.A. system; and even now it is still used by many physicists.

After the adoption of the C.G.S. system the same Commission later decided to adopt the practical units that are obtained by multiplying the absolute C.G.S. electromagnetic units by integral powers of ten. In this way, the practical unit of resistance became the ohm, defined by Maxwell in 1868 as 10^7 metres per second. This ohm was represented by the resistance of a column of mercury 1 metre long and having 1 mm^2 cross section. The Commission also re-defined the ohm as equal to 10^9 electromagnetic C.G.S. units. This value was very close to that of the unit of resistance determined at that time in Germany and given the name Siemens*.

The practical unit of electromotive force was the volt, with a value equal to 10^8 electromagnetic C.G.S. units; a value very close to that of a Daniel cell, which was very commonly used at that time in various laboratories as a unit of electromotive force. Since 1860, Kelvin had been in the habit of using the Daniel cell to express potential difference.

After the very important part played by the British Association has been recalled it becomes appropriate to enlarge a little on the work of the six International Congresses held between 1881 and 1904, and which contributed greatly to the unification of electric and magnetic units. The last of these, be it noted, occurred but a short time before the birth of the IEC.

The scientists who took part in the Congress of 1881 acted from then onwards with great caution and avoided any hasty decisions that they might later have to revoke. At the same time, their courage and foresight were such that their decisions were never overtaken by the progress of events. They avoided, on the one hand, the danger of usage coming into conflict with good sense and, on the other hand, too large a number of measuring instruments being designed on an arbitrary basis.

* Note. — Since then the name Siemens has been given by the IEC to the unit of conductance in the Giorgi system (1935).

Il ne faut pas oublier qu'à l'époque du premier Congrès International d'Electricité, en 1881, il y avait en usage, dans les divers pays :

12 unités de force électromotrice,
10 unités d'intensité de courant,
15 unités de résistance,

et, parmi ces dernières, il convient notamment de mentionner le kilomètre de fil télégraphique de fer de 4 mm de diamètre et surtout la résistance à mercure que Werner Siemens venait de mettre au point et qui fut le prototype des étalons utilisés pendant de longues années.

Le premier Congrès International d'Electricité, sorte de préfiguration de la Commission Electrotechnique Internationale s'est réuni, sous la présidence d'Adolphe Cochery, Ministre des Postes et Télégraphes du Gouvernement français, du 15 septembre au 5 octobre 1881. Il comportait la participation de 28 pays et d'environ 250 délégués parmi lesquels les meilleurs hommes de science et techniciens de l'époque que leurs gouvernements respectifs avaient délégués officiellement.

Nous ne citerons que les plus illustres d'entre eux :

- | | |
|---------------------------|--|
| — Pour l'Allemagne | Helmholtz, Clausius, Kirchhoff, Werner Siemens; Weber, gravement malade et qui devait d'ailleurs mourir cette même année, n'avait pas pu venir. |
| — Pour l'Autriche | Ernst Mach |
| — Pour la Belgique | Eric Gérard, Zenobie Gramme, Gilbert. |
| — Pour les Etats-Unis | Rowland. |
| — Pour la France | J.B. Dumas, Mascart, Planté, Marcel Deprez. |
| — Pour la Grande-Bretagne | Sir William Thomson, William Crookes, Hopkinson. * Le grand Maxwell qui, pendant 20 ans, avait été l'animateur des travaux de la « British Association for the Advancement of Science », était mort deux ans auparavant. |
| — Pour l'Italie | Govi, Galileo Ferraris. |
| — Pour la Norvège | Broch. |
| — Pour les Pays-Bas | Bosscha. |
| — Pour la Russie | R.E. Lenz, A.G. Stoletov et P.N. Yablotchkov. |
| — Pour la Suède | Thalén. |
| — Pour la Suisse | H.F. Weber. |

Le principal résultat de ce Congrès fut de donner une consécration officielle et internationale aux propositions de la British Association concernant l'ohm et le volt. De plus, c'est à ce Congrès que fut définie, sur la proposition de Helmholtz (5), l'unité de courant électrique « l'ampère », comme étant le courant engendré par une force électromotrice de 1 volt dans une résistance de 1 ohm et égal théoriquement à 10^{-1} unité C.G.S. électromagnétique de courant électrique.

C'est également lors de ce Congrès que furent définies, en fonction des unités précédentes, les unités pratiques de quantité d'électricité le « coulomb » et de capacité électrique le « farad ».

* Lord Rayleigh qui avait participé à la préparation de ce Congrès avait été empêché au dernier moment de s'y rendre.

It should not be forgotten that at the time of the First International Electrical Congress in 1881, there were in various countries :

12 different units of electromotive force,
10 different units of electric current,
15 different units of resistance,

Among the units of resistance it is noteworthy to mention the kilometre of iron telegraph wire with a diameter of 4 millimetres, and above all the mercury resistance that Werner Siemens had just introduced and that became the prototype for standards used for many years.

The first International Electrical Congress, a sort of precursor to the International Electrotechnical Commission, met under the chairmanship of Adolphe Cochery, Minister of Posts and Telegraphs of the French Government, from 15th September to 5th October 1881. It was attended by some 250 delegates from 28 countries. Among these were many of the most eminent scientists and technologists of their day, who were officially delegated by their respective governments.

Some of the most outstanding names were :

- | | |
|--------------------------|---|
| — From Germany | Helmholtz, Clausius, Kirchhoff, Werner Siemens. Weber, who was gravely ill and was to die during that same year, was unable to come. |
| — From Austria | Ernst Mach. |
| — From Belgium | Eric Gérard, Zénobie Gramme, Gilbert. |
| — From the United States | Rowland. |
| — From France | J.B. Dumas, Mascart, Planté, Marcel Deprez. |
| — From Great Britain | Sir William Thomson, William Crookes, Hopkinson. * The great Maxwell, who for 20 years had been the inspiration of the work of the British Association for the Advancement of Science, had died 2 years previously. |
| — From Italy | Govi, Galileo Ferraris. |
| — From Norway | Broch. |
| — From the Netherlands | Bosscha. |
| — From Russia | R.E. Lenz, A.G. Stoletov and P.N. Yablotchkov. |
| — From Sweden | Thalén. |
| — From Switzerland | H.F. Weber. |

The principal result of this Congress was to give official and international sanction to the proposals of the British Association concerning the ohm and the volt. It was, moreover, at this Congress that on the proposal of Helmholtz (5) the unit of electric current « the ampere » was defined as the current produced by an electromotive force of one volt in a resistance of one ohm and theoretically equal to 10^{-1} C.G.S. electromagnetic units of electric current.

It was also at this Congress that the practical units for quantity of electricity the “coulomb”, and for electrical capacitance the “farad”, were defined in terms of C.G.S. units.

* Lord Rayleigh helped with preparation work for this Congress but was prevented at the last moment from attending.

En dehors de ces définitions théoriques des unités électriques qui sont encore, il faut bien le reconnaître, à la base du système actuel, ce même Congrès se préoccupa de la représentation matérielle des unités électriques et décida que la meilleure représentation à admettre pour l'ohm était une colonne de mercure de 1 mm^2 de section à la température de 0°C et d'une longueur à déterminer par une Commission internationale.

Celle-ci, présidée par J.B. Dumas, se réunit à Paris une première fois en 1882 et une seconde fois en 1884.

Les conclusions de ces deux réunions se traduisirent par les deux propositions officielles suivantes qui étaient considérées comme les bases du « système légal ».

Première proposition

« L'ohm est la résistance d'une colonne de mercure de 1 mm^2 de section et de 106 cm de longueur à la température de la glace fondante ».

Deuxième proposition

« La Conférence émet le vœu que le Gouvernement français veuille bien transmettre cette résolution aux divers états et en recommander l'adoption internationale ».

Par ailleurs, à la deuxième Conférence, la Commission confirmait la définition de l'ampère légal et du volt légal en fonction des unités absolues C.G.S. sans parler de leur représentation qui était plus délicate et devait, en effet par la suite, donner lieu à certains flottements.

Il convient de noter une certaine incohérence dans les décisions prises par le Congrès en 1881 et la Commission qu'il avait instituée.

Son intention première était d'éviter toute discussion concernant la représentation des unités par des mesures physiques. Conformément à cette position, l'ohm, l'ampère et le volt furent d'abord définis à partir des unités C.G.S. Mais l'influence de ceux qui avaient fondé le système métrique et qui s'occupaient principalement de mesures physiques, a prévalu.

En conséquence pour l'ohm et seulement pour l'ohm, la définition en fonction des unités C.G.S. fut abandonnée et on lui substitua une définition à partir d'une mesure physique.

La définition de cette unité devint alors analogue à celle du mètre et du kilogramme.

L'ohm légal ne fut plus alors défini comme étant égal à 10^9 fois l'unité C.G.S. de la grandeur correspondante mais, comme étant représenté par la résistance d'une colonne de mercure de dimensions bien déterminées.

Il importe toutefois de remarquer que cette décision n'engageait pas l'avenir, puisque le système légal n'était institué que pour dix ans.

Le Congrès de 1889 qui s'est également tenu à Paris, bien que n'ayant pas un caractère aussi officiel que celui de 1881 (car en aucun endroit les comptes rendus ne signalent la présence de délégués officiels des divers gouvernements) a cependant réalisé un accord international sur les définitions des unités pratiques suivantes :

— pour le travail	le joule	= 10^7 unités C.G.S.
— pour la puissance	le watt	= 10^7 unités C.G.S.
— pour le coefficient de self-induction (appelé maintenant inductance)	le quadrant	= 10^9 cm

In addition to the definitions of electrical units in terms of conceptual representation, which are, be it well appreciated, the basis of the present system, the same Congress gave its attention to the material representation of the units. It reached the decision, for instance, that the best representation of the ohm was a column of mercury of 1 mm² section at a temperature of 0°C, and of a length to be determined by an International Commission.

This body, presided over by J. B. Dumas, met in Paris first in 1882 and then again in 1884.

The conclusions of these two meetings are embodied in the following two official resolutions, which were regarded as the basis of a “legal system”.

First resolution

“The ohm is the resistance of a column of mercury of 1 mm² cross-section and 106 cm long at temperature of melting ice”.

Second resolution

“The Conference hopes that the French Government will transmit this resolution to the various countries and recommend its international adoption”.

At this second meeting the Conference also confirmed the legal definition of the ampere and volt in terms of the absolute C.G.S. units; but without speaking of their material representation, a more delicate matter, and one that did indeed later give rise to some uncertainty.

An inconsistency in the decisions of the Congress of 1881, as also of the Commission that it set up, is worth noting.

The original intention was to avoid any discussion about the presentation of units in terms of physical measurement. In accordance with this intention, the ohm, the ampere and the volt were all first defined in terms of the C.G.S. units. But the influence of those who had founded the existing metrical system and who were much preoccupied with methods of physical measurement came to dominate their deliberations.

A consequence was that they abolished their first definition of the ohm in terms of C.G.S. units, but only that of the ohm, and substituted for it a definition that required a physical measurement.

It thereby became analogous to the definitions of the metre and the kilogramme.

The legal ohm was no longer defined as 10⁹ C.G.S. units but was represented by the resistance of a column of mercury of specified dimensions.

It may be pointed out, however, that this decision did not seriously commit the future, for the legal system remained in force for only ten years.

The Congress of 1889, which also met in Paris, did not have as official a character as the one of 1881; none of the Minutes mentioned the presence of official delegates from the various countries as has been done in 1881. But nevertheless this Congress achieved international agreement on the following practical units:

- | | | |
|---|--------------|--------------------------------|
| — for work : | the joule | = 10 ⁷ C.G.S. units |
| — for power : | the watt | = 10 ⁷ C.G.S. units |
| — for the coefficient
of induction (now
called inductance | the quadrant | = 10 ⁹ cm |

C'est également lors de ce Congrès qu'a été précisée, en vue des mesures pratiques, la relation exprimant l'unité d'énergie en fonction des unités du système d'unités électriques légales, en spécifiant que le joule est l'énergie équivalente à la chaleur dégagée pendant une seconde par un courant de 1 A traversant une résistance de 1 ohm.

Au troisième Congrès international qui s'est tenu à Francfort en septembre 1891, il a été suggéré de donner respectivement le nom de « gauss » à l'unité pratique d'intensité de champ magnétique et de « weber » à l'unité pratique de flux d'induction magnétique.

Le Congrès de 1892, qui s'est tenu à Edimbourg, a surtout eu pour but, ainsi d'ailleurs que le Congrès de 1889, la préparation du Congrès de 1893 qui s'est tenu à Chicago.

Le Congrès de Chicago confirmant les vœux des deux Congrès non officiels qui l'avaient précédé substitua au système transitoire des unités électriques légales arrivant à expiration, le système des unités électriques internationales, fixant en plus, pour les trois principales d'entre elles : l'ohm, l'ampère et le volt, des règles de représentation matérielle.

L'ohm et l'ampère ont été définis en fonction des unités du système électromagnétique C.G.S. L'ohm international étant défini comme étant égal à 10^9 unités électromagnétiques C.G.S. et représenté par la résistance offerte à un courant électrique invariable par une colonne de mercure à la température de la glace fondante ayant une masse de 14,4521 g, une section constante et une longueur de 106,300 cm. L'ampère international était défini comme étant égal à 10^{-1} unités électromagnétiques C.G.S. et représenté (suffisamment bien pour les besoins de la pratique) par le courant constant qui, traversant une solution d'azotate d'argent dans l'eau, conformément aux spécifications annexées, dépose l'argent à raison de 0,001 118 g par seconde. Quant au volt international égal à 10^8 unités électromagnétiques C.G.S., le Congrès précise qu'il sera suffisamment bien représenté, pour les besoins de la pratique, par la fraction $\frac{1\ 000}{1\ 434}$ de la force électromotrice de l'élément Latimer Clark.

Toutes les autres unités internationales considérées comme dérivées sont définies en fonction de l'ohm international et de l'ampère international.

A la suite du Congrès de Chicago, la France avait suggéré la réunion d'une Convention Internationale destinée à préparer les lois que les divers pays devaient promulguer en vue de rendre obligatoire le système international.

Les Etats-Unis et la Grande-Bretagne, sans attendre la réunion de la Convention, promulguèrent les lois correspondantes, respectivement le 12 juillet 1894* et le 23 août 1894, en sorte que celle-ci devenait sans objet et, de ce fait, n'a jamais vu le jour. La France, de son côté, se décida à promulguer, pour son compte, le 24 avril 1896, non une loi mais un décret susceptible, par conséquent, d'être modifié plus facilement et l'Allemagne a suivi en promulguant une loi le 1^{er} juin 1898.

La question des unités électriques ayant été réglée par le Congrès de Chicago, le Congrès officiel suivant qui s'est tenu à Paris, en 1900, s'est occupé essentiellement de régler la question plus délicate des unités magnétiques.

* Rapport de F.A. WOLF — Lois concernant les unités électriques.
Bulletin N° 1 du National Bureau of Standards. (6)

Mindful of the requirements of practical measurement, this Congress also defined the relation that expresses the unit of energy in terms of the units in the legal system of electrical units. This was done by specifying that the joule was the mechanical equivalent of the heat emitted during one second by a current of one ampere flowing in a resistance of one ohm.

At the third International Congress, which met in Frankfurt in September 1891, the proposal was made to give the name “gauss” to the practical unit of magnetic flux density and “weber” to the practical unit magnetic flux.

The Congress of 1892, which met in Edinburgh, had, like the one of 1889, as chief aim to prepare for the Congress of 1893 which was to be held in Chicago.

The Congress of Chicago ratified the resolutions of the two unofficial Congresses that preceded it and substituted for the legal electrical units that had been adopted previously, and whose validity was soon to expire, the international system of units. In addition, they laid down rules for the physical representation of the three principal units: the ohm, the ampere and the volt.

The ohm and the ampere were defined in terms of the C.G.S. electromagnetic system. The international ohm was defined as equal to 10^9 electromagnetic C.G.S. units and represented by the resistance presented to a constant electric current by a column of mercury at the temperature of melting ice, having a mass of 14.4521 grammes, a uniform cross section, and a length of 106.300 cm. The international ampere was defined as equal to 10^{-1} electromagnetic C.G.S. units and represented (with sufficient accuracy for practical purposes) by the constant current that, when flowing in a solution of silver nitrate in water in accordance with an appended specification, deposits silver at a rate of 0.001 118 gramme per second. For the international volt, equal to 10^8 electromagnetic C.G.S. units, the Congress declared that it would be sufficiently accurate for practical purposes to define it as the fraction of $\frac{1\,000}{1\,434}$ of the electromotive force of a Latimer Clark cell.

All the other international units were regarded as derived, and were defined in terms of the international ohm and the international ampere.

As a consequence of the Congress of Chicago, France suggested that an International Convention be called for the task of drafting the laws that should be enacted in the various countries in order to make the international system mandatory.

The United States and Great Britain did not wait for the proposed Convention to meet but promulgated the relevant laws on respectively 12th July 1894* and 23rd August 1894. The Convention was thus not required and so never saw the light of day. In France it was decided not to promulgate a law, but on 24th April 1896, a decree was promulgated instead, which could be more readily amended. Germany followed by promulgating a law on 1st June 1898.

Once the question of electrical units had been settled by the Chicago Congress, the succeeding official Congress, which met in Paris in 1900, concerned itself mainly with the most contentious question of magnetic units.

* Report by F.A. WOLF — Laws concerning electrical units.
Bulletin N° 1 of the National Bureau of Standards. (6)

Celle-ci avait déjà fait l'objet d'études très approfondies de la part de l'American Institute of Electrical Engineers qui, en mars 1894, avait proposé d'adopter, pour les unités magnétiques C.G.S. rationalisées les noms suivants :

le gilbert	pour l'unité C.G.S. rationalisée de force magnétique,
le gauss	pour l'unité C.G.S. rationalisée d'induction magnétique,
le weber	pour l'unité C.G.S. rationalisée de flux magnétique,
l'oersted	pour l'unité C.G.S. rationalisée de reluctance.

Ce Congrès proposa, par la suite, du fait de la grandeur incommode de ces unités, que ces noms soient attribués aux unités C.G.S. elles-mêmes.

Le Congrès, de 1900 reprenant à son compte les propositions de l'American Institute of Electrical Engineers, adopta les deux résolutions suivantes :

Première résolution

« Le Congrès recommande l'attribution de noms spéciaux aux unités C.G.S. de champ magnétique et de flux magnétique. »

Deuxième résolution

« 1) Le Congrès recommande l'attribution du nom de Gauss à l'unité C.G.S. de champ magnétique. »

« 2) Le Congrès recommande l'attribution du nom de Maxwell à l'unité C.G.S. de flux magnétique. »

Le Congrès suivant se réunit à Saint Louis du 12 au 17 septembre 1904 et c'est au cours de celui-ci que fut conçue l'idée de la Commission Electrotechnique Internationale. Le processus fut le suivant :

Des divergences considérables s'étaient manifestées entre les lois promulguées dans les divers pays à la suite du Congrès de Chicago et un effort dans le sens de la normalisation s'imposait en conséquence. Sur un rapport présenté par M. Frank Wolff, la Chambre des Délégués Officiels adopta, dans sa séance du 15 septembre, les propositions faites par ses Sous-Comités, de créer deux Commissions internationales *permanentes* chargées respectivement :

la première, de l'étude des unités et étalons électriques,

la deuxième, de l'étude de l'unification de la nomenclature et des caractéristiques des machines et appareils électriques.

Deux besoins distincts se faisaient en effet sentir. En premier lieu, les gouvernements reconnaissaient qu'il était devenu nécessaire d'entreprendre rapidement dans le domaine des unités très différentes utilisées dans les transactions commerciales une action officielle et universelle.

En second lieu, il paraissait également nécessaire de constituer un forum, comprenant des hommes de sciences et dans lequel seraient représentées les sociétés techniques, qui aurait pour but d'étudier et d'établir une terminologie pour l'ensemble des concepts scientifiques et techniques.

Depuis la date de la création de ces deux Commissions, les responsables de ces deux domaines de normalisation ont agi séparément. Les premiers se sont réunis à Londres où s'est tenue en 1908 une Conférence internationale ayant pour objet les unités électriques et leurs étalons.

Les délégués représentant les gouvernements ont adopté :

- a) un ensemble d'unités fondamentales définies comme multiples décimaux des unités électromagnétiques C.G.S. correspondantes,
- b) un ensemble d'unités internationales formant un système d'unités représentant les unités fondamentales et suffisamment proches d'elles en vue de leur utilisation pour les mesures.

These had already been the subject of a very thorough study by the American Institute of Electrical Engineers which, in March 1894, had proposed the adoption for the rationalized C.G.S. magnetic units of the following names :

“gilbert”	for the rationalized C.G.S. unit of magnetomotive force,
“gauss”	for the rationalized C.G.S. unit of magnetic flux density,
“weber”	for the rationalized C.G.S. unit of magnetic flux,
“oersted”	for the rationalized C.G.S. unit of reluctance.

This Congress proposed that, because of the inconvenient size of these units, the names be given, not to the practical, but to the C.G.S. units.

The 1900 Congress, endorsing the proposals from the American Institute of Electrical Engineers, adopted the two following resolutions :

First resolution

“The Congress recommends that special names be given to the C.G.S. units of magnetic field strength and magnetic flux”.

Second resolution

- “1) The Congress recommends that the name “gauss” be given to the C.G.S. unit of magnetic field strength.”
- “2) The Congress recommends that the name “maxwell” be given to the C.G.S. unit of magnetic flux”.

The following Congress met in St. Louis from 12th to 17th September 1904 and the International Electrotechnical Commission was initiated at that Congress. It happened as follows :

There had proved to be considerable differences in the laws promulgated in the various countries following the Chicago Congress, and an attempt at standardization was clearly called for. The official Chamber of Delegates adopted therefore, on the basis of a report presented by Mr. Frank Wolff at its meeting on 15th September, the proposal presented by its Sub-Committees to form two *permanent* international Commissions with the following duties :

- to make a study of electric units and standards,
- to study the unification of nomenclature and of the characteristics of electrical machines and apparatus.

Two distinct needs were appreciated at the time. Firstly, the Governments saw that it had become necessary to take quick, official and common action about the very different units that were in use for commercial transactions.

Secondly, it had appeared to be also necessary to provide a forum that would consist of scientists, and in which technological and learned societies would be represented. Its duty would be to study and set up a terminology for the whole field of scientific and technological concepts.

From the date of the creation of these two Commissions, those responsible for the two fields of standardization acted separately. The first met in London, where an International Conference took place in 1908, to concern itself with electrical units and their physical representation.

The Government representatives adopted at this Conference :

- a) a set of fundamental units defined as decimal multiples of the corresponding electromagnetic C.G.S. units,
- b) a set of international units forming a system of units to represent the fundamental units and sufficiently close to them to serve for purpose of measurement.