

**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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60164:1964

# Withdrawn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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60164:1964

Withdawn

## 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**Withdrawn**

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60164-1:1964

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'Études 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'Études 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'Études 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'Études 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	

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60164:1964

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	

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60164:1964

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  $1\text{mm}^2$  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  $1 \text{ mm}^2$  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  $1\text{mm}^2$  de section à la température de  $0^\circ\text{C}$  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  $1\text{mm}^2$  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 1mm<sup>2</sup> 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 mm<sup>2</sup> 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 10<sup>9</sup> 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<sup>7</sup> C.G.S. units
- for power :         the watt         = 10<sup>7</sup> C.G.S. units
- for the coefficient  
of induction (now  
called inductance    the quadrant = 10<sup>9</sup> 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<sup>er</sup> 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.

Ces unités internationales avaient été basées sur un « ohm international » défini en fonction de la colonne de mercure et un « ampère international » défini à l'aide du voltamètre à argent.

Un Comité d'Etudes international dans lequel étaient représentés l'Allemagne, les Etats-Unis, la France et la Grande-Bretagne se réunit en 1910 à Washington au « National Bureau of Standards »; il fit des comparaisons entre les étalons de résistance et de tension en usage dans les quatre pays les plus industrialisés à l'époque et établit un accord sur les valeurs à utiliser pour les unités internationales.

En 1921, la Sixième Conférence Générale des Poids et Mesures décida de procéder à une révision de la « Convention du Mètre » étendant les responsabilités du Comité International des Poids et Mesures en incluant dans son domaine d'activité les unités électriques et photométriques.

Les travaux de laboratoire du Bureau International des Poids et Mesures furent rendus plus aisés dès 1928 et, à partir de cette année, il a pu effectuer périodiquement des comparaisons des étalons de résistance et de force électromotrice conservés dans les divers Laboratoires Nationaux responsables des étalons.

En 1927, la Septième Conférence Générale des Poids et Mesures créa au sein du Comité International des Poids et Mesures un Comité Consultatif pour l'Electricité, et quelque vingt ans après, conformément à une décision du Comité International des Poids et Mesures du 1<sup>er</sup> janvier 1948, eut lieu la substitution définitive des unités électriques absolues (définies comme étant égales à des multiples décimaux entiers des unités correspondantes du système d'unités électromagnétique C.G.S.) aux unités internationales.

Les unités définies ainsi à partir de mesures mécaniques et une valeur conventionnelle de la perméabilité de l'espace vide sont actuellement d'un usage universel.

Les facteurs de conversion suivants furent établis par le C.I.P.M. en 1946 :

1 ohm international: 1,00049 ohm absolu

1 volt international: 1,00034 volt absolu

En 1931, l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée a chargé un Comité spécial de toutes les questions concernant les symboles, les unités de la nomenclature des grandeurs utilisées en physique. Ce Comité désigné par la « Commission S.U.N. » de l'U.I.P.P.A. travaille en étroite collaboration avec le Comité d'Etudes N° 24 de la CEI en vue de réaliser un accord aussi parfait que possible dans ce domaine entre les usages des physiciens et ceux des ingénieurs.

Ainsi qu'il a été indiqué dans l'introduction, une étroite collaboration a été également établie dès sa création entre le Comité d'Etudes N° 12 de l'ISO et le Comité d'Etudes N° 24 de la CEI.

Pour la clarté de l'exposé, il est opportun de laisser de côté pour un instant la partie historique consacrée aux noms et aux valeurs numériques attribuées aux unités des diverses grandeurs électriques et magnétiques et de rappeler brièvement le côté historique des discussions qui se sont avérées nécessaires pour clarifier les concepts mêmes des grandeurs en adoptant pour celles-ci et pour leurs unités des désignations et des définitions claires et précises.

Les questions de terminologie ont été prises en main par la Commission Electrotechnique Internationale qui fut conçue en 1904 à Saint Louis ainsi que cela a déjà été mentionné.

Elle a commencé ses travaux en 1908 sous la conduite du Colonel R.E. Crompton au sein du premier Comité d'Etudes institué à cette époque sous le titre de Comité d'Etudes de la Nomenclature et avec le numéro 1.

These international units had been based on an “international ohm” defined in terms of a column of mercury and an “international ampere” defined in terms of the deposition of silver by an electric current.

The International Study Committee met in 1910 at the National Bureau of Standards, Washington. Four nations were represented : France, Germany, Great Britain and the United States. This Committee made a comparison between the standards for resistance and for voltage that were in use in these respective countries, the four most highly industrialised at that time, and reached agreement on the values to be adopted for international units.

In 1921, the Sixth General Conference on Weights and Measures decided to revise the “Metre Convention” by extending the field of responsibility of the International Committee on Weights and Measures to include electrical and photometric units.

The work of the Laboratory of the International Bureau of Weights and Measures became lighter from 1928 onwards, and after that year it became possible periodically to compare the standards for resistance and electromotive force that were preserved in the various National Laboratories responsible for such standards.

In 1927, the Seventh General Conference on Weights and Measures created within the International Committee for Weights and Measures a Consultative Committee for electricity, and some twenty years later, in accordance with a decision reached by the International Committee of Weights and Measures on 1st January 1948, the absolute electric units (defined as multiples of integral powers of ten of corresponding units in the electromagnetic C.G.S. system) replaced the international units.

These, which were defined on the basis of physical measurements and on a conventional value for the permeability of free space, are now in general use.

The following conversion factors were provided by the C.I.P.M. in 1946 :

1 international ohm : 1.00049 absolute ohm

1 international volt : 1.00034 absolute volt

In 1931, the International Union of Pure and Applied Physics entrusted a specially constituted Committee with the responsibility for all questions concerning symbols, units and terminology for the quantities used in physics. This Committee is called the “S.U.N.” Committee of the I.U.P.A.P. It works in close collaboration with the IEC Technical Committee No. 24 with the aim of achieving as complete agreement as possible in this field between physicists and engineers.

In addition, as has been mentioned already in the Introduction, close collaboration has also been maintained between ISO Technical Committee 12 since its creation and Technical Committee No. 24 of the IEC.

For clarity of the statement, it is appropriate to turn for a moment from the historical part relating to names and numerical values given to units of the various electric and magnetic quantities and to briefly recall the historical aspect of those discussions which were deemed necessary in order to clarify the concepts themselves for quantities by the choice of clear and precise designations and definitions for those quantities and their units.

Work in the field of terminology was undertaken by the International Electrotechnical Commission, which was initiated, as mentioned above, in 1904, in St. Louis.

It began its work in 1908 under the guidance of Colonel R.E. Crompton in the first Technical Committee to be appointed at that time under the title “Advisory Committee on Nomenclature” with the Number 1.

Durant l'année 1931, au cours de laquelle fut formée la Commission S.U.N., le Comité d'Etudes N° 1 jugea opportun de répartir en trois sections l'ensemble des questions faisant partie de son domaine d'activité. Celles-ci furent désignées comme suit :

Section A : Vocabulaire

Section B : Grandeurs et unités électriques et magnétiques \*

Section C : Symboles littéraux

Vu l'importance des questions traitées par la Section B du Comité d'Etudes N° 1, il fut décidé en 1935 de confier toutes les questions concernant les grandeurs et unités électriques et magnétiques à un Comité d'Etudes spécial auquel fut donné le titre « Grandeurs et Unités Electriques et Magnétiques » et le numéro 24. Le titre, à lui seul, résume de manière très brève mais claire les attributions de ce Comité.

Les premiers travaux du Comité d'Etudes de la Nomenclature, entrepris sous les présidences successives d'Eric Gérard à Cologne, en 1911, de L. Lombardi à Turin, en 1911, de Budde à Paris, en 1912, à Cologne et à Berlin en 1913, ont été interrompus par la guerre mondiale de 1914-1918. Ils étaient consacrés à l'élaboration d'une terminologie aussi précise que possible et ce n'est guère qu'à partir de 1927 que le Comité s'est préoccupé, sous la présidence du D<sup>r</sup> C.O. Mailloux de reprendre l'étude des divers problèmes non encore résolus concernant les grandeurs électriques et magnétiques et leurs unités.

Ce sont principalement les définitions des grandeurs électromagnétiques et de leurs unités qui ont donné lieu aux premières grandes difficultés concernant l'obtention d'un accord international du fait, en grande partie, de certaines décisions officielles prises antérieurement, notamment au Congrès International de Paris en 1900. C'est en effet à ce Congrès que fut décidé d'attribuer le nom de Gauss à l'unité C.G.S. de champ magnétique, probablement par suite d'une erreur de traduction qui a conduit à l'adoption du terme « champ magnétique » à la place du terme « induction magnétique », pour le terme anglais « magnetic field density » employé dans la proposition américaine.

A cette époque, la distinction entre la grandeur « champ magnétique » et la grandeur « induction magnétique » n'était pas encore universellement admise, bien au contraire.

Pour un grand nombre de physiciens et d'électriciens, ces deux grandeurs étaient considérées, à cette époque, comme étant des grandeurs de même nature, donc devant comporter la même unité et nombreux étaient ceux qui employaient indifféremment le nom de Gauss pour désigner, soit l'unité C.G.S. d'induction magnétique, soit l'unité C.G.S. de champ magnétique. Cependant, parmi les électriciens qui éprouaient le besoin de deux unités distinctes, il en était qui auraient préféré, au Congrès de 1900, attribuer le nom de Gauss à l'unité d'induction magnétique et non à l'unité de champ magnétique. Aussi, un grand nombre d'entre eux, principalement aux Etats-Unis, ne se conformèrent pas à la décision prise à ce Congrès et conservèrent l'habitude d'évaluer en gauss les inductions magnétiques et non les champs magnétiques.

Par la suite, des discussions théoriques auxquelles participèrent des électriciens et des physiciens très éminents se sont ouvertes pour savoir si le champ et l'induction étaient bien des grandeurs de même nature.

Constatant qu'après les discussions les désaccords se maintenaient, la Commission Electrotechnique Internationale décida de consacrer ses efforts à améliorer la situation.

---

\* En 1930, le Comité d'Etudes N° 1 : Nomenclature, comprenait deux Sous-Comités :

Sous-Comité 1 — Vocabulaire électrotechnique  
Président : D<sup>r</sup> C.O. Mailloux,

Sous-Comité 2 — Unités magnétiques  
Président : D<sup>r</sup> A.E. Kennelly.

In the year 1931, during which the S.U.N. Commission was formed, IEC Advisory Committee No. 1 considered that it was convenient to sub-divide the group of questions that came within its field of study into three categories as follows :

Section A : Vocabulary

Section B : Electric and magnetic magnitudes and units \*

Section C : Letter symbols

In view of the importance of the questions dealt with by Section B of Advisory Committee No. 1, it was decided in 1955 to entrust all questions concerning electric and magnetic magnitudes and units to a special Study Committee to which the title "Advisory Committee on Electric and Magnetic Magnitudes and Units" was given with Number 24. This title, by itself, very briefly but clearly summarizes the scope of the Technical Committee.

The early work of the Advisory Committee on Nomenclature was conducted under the successive chairmanships of Eric Gérard in Cologne in 1911; L. Lombardi in Turin in 1911; Dr. E. Budde in Paris in 1912 and in Cologne and Berlin in 1913. The work was then interrupted by the First World War, after which it concentrated on developing as precise a terminology as possible. It was not until 1927 that the Committee concerned itself, under the chairmanship of Dr. C.O. Mailloux, with the study of the various outstanding problems concerning electric and magnetic quantities and units.

It was particularly the definitions of electromagnetic quantities and their units that gave rise to the first considerable difficulties in reaching international agreement. This was largely due to certain official decisions that had been taken earlier, particularly at the Paris International Congress of 1900. At this Congress, the decision was taken to give the name "gauss" to the C.G.S. unit of magnetic field strength, probably as a result of an error in translation. This led to the adoption of the term "magnetic field" in place of "magnetic induction" for the English term "magnetic field density" which had been used in the American proposal.

At that time the distinction between the quantity "magnetic field strength" and "magnetic flux density" was far from being generally understood.

For a large number of physicists and electrical engineers, these quantities were considered at that time as being of the same nature and therefore calling for the same unit, and numerous scientists used the name "gauss" to designate both the C.G.S. unit for magnetic flux density and the C.G.S. unit for magnetic field strength. However, some of the electrical engineers who were well aware of the need for two distinct units would have preferred at the Congress of 1900 to give the name "gauss" to the unit of magnetic flux density rather than to that of magnetic field strength, as had been done. Moreover, a large number of them, particularly in the U.S.A., did not adhere to the decision taken at that Congress and continued the usage according to which they expressed in "gauss" magnetic flux density instead of magnetic field strength.

In consequence, discussions of a theoretical nature were opened at which very eminent electrical engineers and physicists considered the question whether magnetic field strength and magnetic flux density were in fact quantities of the same nature.

But disagreement continued and taking note of this, the International Electrotechnical Commission decided on an effort to remedy the situation.

---

\* In 1930, Advisory Committee No. 1 on Nomenclature comprised two Sub-Committees :

Sub-Committee 1 — Vocabulary

Chairman : Dr. C.O. Mailloux,

Sub-Committee 2 — Magnetic units

Chairman : Dr. A.E. Kennelly.

Aussitôt après les réunions de Bellagio de 1927, la CEI chargea un Sous-Comité composé de sept personnalités éminentes d'étudier la question en vue de la prochaine réunion qui devait commencer à Stockholm en juin 1930 et se terminer à Oslo en juillet de la même année.

Ce Sous-Comité, présidé par le D<sup>r</sup> A.E. Kennelly, comprenait les personnalités suivantes :

W.H. Eccles	Grande-Bretagne
P. Janet	France
L. Lombardi	Italie
V.T. Mitkievitch	U.R.S.S.
K. Strecker	Allemagne
C.J. Van de Well	Pays-Bas

Après un laborieux échange de correspondance, ce Sous-Comité était arrivé à la conclusion que de nouvelles études étaient nécessaires, et pour cela il recommandait :

- 1) d'obtenir d'abord un accord international sur les définitions des nouvelles grandeurs intéressant les électriciens;
- 2) de revoir ensuite la question de savoir si le gauss pouvait s'appliquer à la fois à l'unité d'induction magnétique et à l'unité de champ magnétique;
- 3) d'examiner s'il ne conviendrait pas de choisir, à côté du système C.G.S. un système absolu et rationnel intéressant toutes les unités pratiques, soit le système proposé par Giorgi en 1901 (système mètre-kilogramme-seconde-ohm international), soit le système Dellinger-Bennett (cm,  $10^{-7}$  g, s) qui, tous deux, ont l'avantage de faire disparaître la double série d'unités (unités électromagnétiques — unités électrostatiques) qui se présentent dans le système C.G.S. et d'éviter, à chaque instant, l'introduction d'une manière fâcheuse des coefficients  $c$  et  $c^2$  ou leurs inverses ( $c$  étant la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide).

Le Sous-Comité suggérait que cette dernière et fort importante question soit inscrite à l'ordre du jour de la prochaine réunion internationale du Comité de la Nomenclature.

Enfin, le Sous-Comité, craignant que des confusions puissent se produire dans la compréhension des écrits concernant l'électromagnétisme, déclarait ne pas être en mesure de recommander la suggestion mentionnée dans la proposition soumise par le Comité italien à la réunion de Bellagio visant à débaptiser l'unité C.G.S. de flux magnétique en vue d'attribuer le nom de Maxwell, non à l'unité C.G.S., mais à l'unité pratique de flux d'induction magnétique.

Les recommandations du Sous-Comité ont donné lieu, de la part du Comité de la Nomenclature, aux décisions suivantes prises en 1930 à Stockholm, ratifiées la même année à Oslo :

- 1) que la question des noms à attribuer aux unités magnétiques ne soit abordée qu'après accord international sur leurs définitions;
- 2) que la formule  $B = \mu_0 H$  représente le concept moderne des relations physiques dans les conditions magnétiques du vide, étant admis que, dans cette expression  $\mu_0$  a des dimensions physiques;
- 3) dans le cas de substances magnétiques, la formule précitée devient  $B = \mu H$  dans laquelle  $\mu$  a les mêmes dimensions physiques que  $\mu_0$ . Il s'ensuit que la perméabilité relative d'une substance est un nombre pur égal à  $\mu/\mu_0$ .

Immediately after the meetings in Bellagio in 1927, the IEC instructed a Sub-Committee, composed of seven eminent personalities, to study the question in readiness for the next meeting, which was to commence in Stockholm in June 1930 and finish in Oslo in July of the same year.

This Sub-Committee was presided over by Dr. A.E. Kennelly and comprised the following personalities :

W.H. Eccles	Great Britain
P. Janet	France
L. Lombardi	Italy
V.T. Mitkiewitch	U.S.S.R.
K. Strecker	Germany
C.J. Van de Well	Netherlands

After intensive correspondence among its members, this Sub-Committee arrived at the conclusion that new studies were necessary. It recommended :

- 1) that international agreement on the definition of those new quantities that were important for electrical engineers should be striven for;
- 2) that the question whether the gauss could be used for both the unit of magnetic flux density and the unit of magnetic field strength should be considered again;
- 3) that the question should be examined whether it would not be appropriate to select side by side with the C.G.S. system an absolute and rationalized system for all the practical units. This could be the system proposed by Giorgi in 1901 (metre, kilogramme, second, international ohm) or the Dellinger-Bennett system (centimetre,  $10^{-7}$  gramme, second) both of which would have the advantage of abolishing the then existing duplicate set of units (electromagnetic units and electrostatic units) which are found in the C.G.S. system. It would also avoid the need to introduce at every turn the troublesome coefficients  $c$  or  $c^2$  or their reciprocals,  $c$  being the speed of propagation of electromagnetic waves in vacuo.

The Sub-Committee suggested that this last and most important question should be placed on the agenda for the next international meeting of the Committee on Nomenclature.

Lastly, the Sub-Committee feared that confusion could arise in the minds of those reading works on electromagnetism from the proposal submitted by the Italian National Committee at the meeting in Bellagio to rechristen the C.G.S. unit for magnetic flux density by giving the name "maxwell", not to a C.G.S. unit, but to the practical unit of magnetic flux density. Hence the Sub-Committee declared itself against this proposal.

The recommendations of the Sub-Committee led to the following decisions of the Committee on Nomenclature taken in 1930 in Stockholm and ratified in the same year in Oslo :

- 1) that the question of the names to be allocated to magnetic units should not be considered until general agreement has been arrived at in connection with their definitions;
- 2) that the formula  $B = \mu_0 H$  represents the modern concept of the physical relations for magnetic conditions in vacuo, it being understood that, in this expression  $\mu_0$  possesses physical dimensions;
- 3) in the case of magnetic substances, the above formula becomes  $B = \mu H$ , in which  $\mu$  has the same physical dimension as  $\mu_0$ . It follows that the specific or relative permeability of a magnetic substance is a number equal to  $\mu/\mu_0$ .

Ces décisions furent complétées par des propositions de définitions pour quelques-unes des principales grandeurs magnétiques, notamment pour les grandeurs suivantes :

Champ magnétique  
Induction magnétique  
Flux d'induction magnétique  
Force magnétomotrice  
Perméabilité magnétique.

Il ne paraît pas opportun de citer ici les textes proposés pour ces définitions, étant donné qu'ils ont subi, depuis lors, de nombreuses modifications.

Au cours de cette même réunion de Stockholm (1930), sur la proposition du Sous-Comité des Grandeurs et Unités Électriques et Magnétiques, le Comité d'Études de la Nomenclature a adopté définitivement les noms suivants pour les unités C.G.S. des quatre principales grandeurs magnétiques :

- 1) le nom de « maxwell » pour l'unité de flux d'induction magnétique, confirmant ainsi la décision du Congrès de Paris de 1900,
- 2) le nom de « gauss » pour l'unité d'induction magnétique,
- 3) le nom d'« oersted » pour l'unité d'intensité du champ magnétique,
- 4) le nom de « gilbert » pour l'unité de force magnétomotrice,

et pris les décisions suivantes concernant les grandeurs et unités électriques :

- 1) le nom de « var » sera utilisé pour désigner l'unité pratique de puissance réactive,
- 2) que, provisoirement, il y a lieu de conserver la dénomination puissance réactive pour la grandeur correspondante,
- 3) qu'en régime non sinusoïdal, les deux grandeurs puissance apparente et facteur de puissance sont définies par les expressions suivantes :

Puissance apparente	$V I$
Facteur de puissance d'un système monophasé	$P / V I$

- 4) que la proposition de donner le nom de « hertz » à l'unité de fréquence fasse l'objet d'une étude de la part du Sous-Comité des Grandeurs et Unités Électriques et Magnétiques.

Il convient également de rappeler qu'à cette réunion, le Sous-Comité 2 chargé des questions relatives aux unités magnétiques a adopté à l'unanimité :

- 1) sur la proposition de M. Mitkievitch appuyée par Monsieur Lombardi, la désignation de « pra-maxwell » pour l'unité pratique de flux magnétique égale à  $10^8$  maxwells,
- 2) le préfixe « pra » comme moyen général de désignation d'une unité pratique dérivée du système C.G.S.

Par la suite, les recommandations correspondant à ces deux dernières décisions n'ont pas été appliquées. Il y a d'ailleurs lieu de signaler qu'à l'époque, la procédure en vigueur à la CEI ne prévoyait pas le renvoi aux Comités nationaux des projets de recommandations pour leur approbation suivant la Règle des Six Mois.

La question très discutée de la différence de nature entre les grandeurs  $H$ , Intensité de champ magnétique, et  $B$ , Induction magnétique, ayant été définitivement réglée à cette réunion, le Sous-Comité des Grandeurs et Unités Électriques et Magnétiques du Comité de la Nomenclature s'est attaché à régler les deux questions non moins importantes concernant, la première, l'extension de la série existante d'unités pratiques à un système pratique cohérent d'unités physiques, la seconde, la rationalisation des équations du champ électromagnétique.

These decisions were reinforced by proposals for the definition of some of the principal magnetic quantities, particularly the following :

magnetic field strength  
magnetic flux density  
magnetic flux  
magnetomotive force  
magnetic permeability.

It would serve no useful purpose to quote here the suggested wording of these definitions, for they have been subjected since then to several modifications.

During the same meeting in Stockholm (1930), the Advisory Committee on Nomenclature accepted a proposal of the Sub-Committee on Electrical and Magnetic Magnitudes and Units and adopted the following names for the C.G.S. units of the principal magnetic quantities :

- 1) the name “maxwell” for the unit of magnetic flux, thereby confirming the decision of the Paris Congress of 1900,
- 2) the name “gauss” for the unit of magnetic flux density,
- 3) the name “oersted” for the unit magnetic field strength,
- 4) the name “gilbert” for the unit of magnetomotive force.

It took the following decisions concerning electrical quantities and units, that :

- 1) the name “var” to be used for designating the practical unit of reactive power,
- 2) provisionally, the term reactive power to be retained for the corresponding quantity,
- 3) for a non-sinusoidal system the two quantities, apparent power and power factor, are defined by the following expressions :

$$\begin{array}{ll} \text{Apparent power} & V I \\ \text{Power-factor of a single-phase system} & P / V I \end{array}$$

- 4) the proposal to give the name “hertz” to the unit for frequency to be referred to the Sub-Committee on Electric and Magnetic Quantities and Units.

It is also well to recall that, at this meeting, Sub-Committee 2 which was dealing with the questions concerning magnetic units unanimously adopted :

- 1) on the proposal of Mr. Mitkievitch, supported by Mr. Lombardi, the designation “pramaxwell” for the practical unit of magnetic flux which is equal to  $10^8$  maxwells,
- 2) the prefix “pra” as a general way of designating a practical unit derived from the C.G.S. system.

Later on, recommendations corresponding to both the above decisions were not followed. It should be mentioned that the procedure in force at the IEC at the time did not provide for submitting draft recommendations to the National Committees for approval under the Six Months' Rule.

Therewith the much discussed question of the difference between the nature of the quantity  $H$ , Magnetic field strength, and  $B$ , Magnetic flux density, was finally settled, and the Sub-Committee on Electric and Magnetic Magnitudes and Units of the Advisory Committee on Nomenclature was able to turn to two other but not less important questions. They were : firstly, the extension of the existing set of practical units into a coherent practical system of physical units; and secondly, the rationalization of the electro-magnetic field equations.

Ainsi que nous l'avons rappelé plus haut, la question de substituer au système d'unités C.G.S. un système d'unités plus pratique fut envisagé dès 1930, lors de la première réunion du Sous-Comité 2 « Unités magnétiques » du Comité de la Nomenclature. Au cours de cette même année, le Professeur Mitkiewitch (U.R.S.S.) proposa à Stockholm de donner aux unités de ce système le nom de l'unité absolue C.G.S. précédé du préfixe « pra ». Cette proposition fut adoptée, mais ce n'est, cependant, qu'à la deuxième réunion de la section B du Comité d'Etudes N° 1 qui se tint à Paris, en octobre 1933, que cette section décida de reprendre activement l'étude de cette substitution, et ceci, à la suite de la discussion de la résolution adoptée en juin 1933 par le Comité américain de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée.

Elle décida notamment, à la suite de ces dernières discussions, de soumettre à son tour, à tous les Comités nationaux, la résolution suivante :

« La section B du Comité d'Etudes N° 1 de la Nomenclature ayant entendu avec intérêt la communication de M. Giorgi sur le système M.K.S. et se ralliant à la résolution adoptée par le Comité américain de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée à Chicago, en juin 1933, décide d'inviter les Comités nationaux à donner leur avis sur l'extension de la série des unités pratiques actuellement employées en électrotechnique par son incorporation dans un système cohérent ayant comme unités fondamentales de longueur, masse et temps, le mètre, le kilogramme et la seconde, et, comme quatrième unité, soit celle de la résistance définie comme étant  $10^9$  fois l'unité électromagnétique C.G.S., soit la valeur correspondante de la perméabilité de l'espace vide. »

A la réunion suivante et qui s'est tenue à Scheveningen, en 1935, le Comité d'Etudes de la Nomenclature a pris, à la quasi unanimité, sur la proposition de sa section Grandeurs et Unités Électriques et Magnétiques, la décision d'adopter, sous le nom de système Giorgi, le système à quatre unités fondamentales comportant les trois unités : mètre, kilogramme, seconde et une quatrième unité dont le choix reste réservé.

Il charge le Professeur Lombardi, d'une part, et le Dr A.E. Kennelly, d'autre part, de se mettre respectivement en rapport avec le Comité Consultatif d'Electricité du Comité International des Poids et Mesures et avec la Commission S.U.N. de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée pour le choix de la quatrième unité.

Enfin, à cette même réunion, le Comité de la Nomenclature décide d'adopter le nom de Weber pour l'unité pratique du flux d'induction magnétique, et, à titre d'exemple, les trois unités dérivées suivantes du nouveau système :

- a) « unité de champ électrique avec la désignation volt par mètre,
- b) unité d'induction magnétique  $B$ , avec la désignation weber par mètre carré (myriagauss),
- c) unité de densité d'énergie en volume avec la désignation joule par mètre cube ».

Il décide également, à cette réunion, l'adoption définitive du nom de Hertz pour l'unité de fréquence et du nom de Siemens pour l'unité de conductance proposée lors de la précédente réunion et soumise pour avis aux Comités nationaux.

Enfin, à cette même réunion, sur la proposition de la section C, Symboles littéraux, le Comité de la Nomenclature adopte les symboles littéraux suivants pour les unités ayant des noms de savants :

Mx	pour le maxwell
Gs	pour le gauss
Oe	pour l'oersted
Gb	pour le gilbert
Wb	pour le weber
Hz	pour le hertz.

As has been mentioned above, the question of replacing the C.G.S. system of units by a more practical system was envisaged in 1930 on the occasion of the first meeting of Sub-Committee 2, on Magnetic units, of the Committee on Nomenclature. In the same year, Professor Mitkievitch of the U.S.S.R. proposed at Stockholm that units in this system should have the name of the C.G.S. absolute unit with the addition of the prefix "pra". This proposal was adopted, but it was not until the second meeting of Section B of Advisory Committee No. 1 in Paris in October 1933 that this Committee decided to take up actively a study of the replacement mentioned above. This decision followed a discussion of the resolution taken in June 1933 by the American Committee of the International Union of Pure and Applied Physics.

This discussion led the Committee to submit on its own behalf the following resolution to all National Committees :

"Section B of the Advisory Committee No. 1 on Nomenclature, having heard with great interest the communication from Mr. Giorgi on the M.K.S. system, and endorsing the resolution adopted by the American section of the International Union of Pure and Applied Physics at Chicago in June 1933, decides to invite the National Committees to give their opinion on the extension of the series of practical units at present employed in electrotechnics by its incorporation in a coherent system having as fundamental units of length, mass and time, the metre, the kilogramme and second, and as fourth unit either that of resistance expressed as the precise multiple  $10^9$  of the C.G.S. electromagnetic unit or the corresponding value of the space permeability of a vacuum".

At the following meeting, which was held in Scheveningen, in 1935, the Advisory Committee on Nomenclature took almost unanimously, on the proposal of its Section "Electric and Magnetic Magnitudes and Units", the decision to adopt under the name of "Giorgi System" the system with four basic units comprising the three units : metre, kilogramme, second and a fourth unit to be chosen later.

The Committee instructed Professor Lombardi on the one hand, and Dr. A.E. Kennelly on the other, to get in touch with, respectively, the Consultative Committee on Electricity of the International Committee on Weights and Measures and the S.U.N. Commission of the International Union for Pure and Applied Physics concerning the choice of the fourth unit.

At the same meeting, the Committee on Nomenclature decided, finally, to adopt the name "weber" for the practical unit of magnetic flux; and that, in the new system the three following derived units be adopted as examples and with the following provisional designations :

- a) "unit of electric field with the name volt per metre,
- b) unit for magnetic induction,  $B$ , with the name weber per square metre (myriagauss),
- c) unit for volume density of energy with the name joule per cubic metre".

At the same meeting, it was also decided to adopt the name "hertz" for the unit of frequency and the name "siemens" for the unit of conductance, as had been proposed at the preceding meeting and submitted to the National Committees for their opinion.

At the same meeting, it was finally decided, on a recommendation of Section C for Letter symbols, to adopt the following letter symbols for the units that have the names of scientists :

Mx	for the maxwell
Gs	for the gauss
Oe	for the oersted
Gb	for the gilbert
Wb	for the weber
Hz	for the hertz.

En 1938, le Comité d'Etudes N° 24, Grandeurs et Unités Électriques et Magnétiques, a tenu sa première réunion à Torquay (Angleterre) sous la présidence du D<sup>r</sup> Clayton Sharp, en l'absence de son Président titulaire, le D<sup>r</sup> A.E. Kennelly.

Cette réunion a été essentiellement consacrée à l'étude du choix, soit de la quatrième unité du système Giorgi, soit de l'élément devant servir de liaison entre les unités électriques et les unités mécaniques du même système.

En possession, d'une part, de l'avis du Comité Consultatif d'Electricité de la Conférence Générale des Poids et Mesures apporté par le Professeur Lombardi, et d'autre part, de celui de la Commission S.U.N. de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée, apporté par le Professeur Koenig, le Comité décide, à l'unanimité, d'adopter la résolution suivante :

« Le Comité, après avoir pris note des réponses concordantes du Comité Consultatif d'Electricité et de la Commission S.U.N. de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée, en ce qui concerne le choix de la quatrième unité dans le système Giorgi (M.K.S.) se déclare d'accord pour recommander, comme élément de liaison entre les unités électriques et mécaniques, la perméabilité du vide avec la valeur  $\mu_0 = 10^{-7}$  dans le système non rationalisé et  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  dans le système rationalisé.

Le Comité reconnaît que l'une quelconque des unités suivantes : ohm, ampère, volt, henry, farad, coulomb, weber, déjà en usage, peut également servir comme quatrième unité fondamentale, puisqu'il est possible de déduire chaque unité et ses dimensions d'un ensemble quelconque de quatre autres mutuellement indépendantes. »

Cette résolution était accompagnée de la note suivante :

« Note. — La nécessité de réaliser une grande exactitude a généralement conduit les laboratoires nationaux à faire reposer la réalisation des unités absolues sur les déterminations de l'ohm absolu et de l'ampère absolu.

Pour les mesures techniques, au contraire, les étalons pratiques sont, en général, ceux de résistance et de force électromotrice car ils présentent des avantages de facilité de transport, de simplicité et d'exactitude dans leur emploi. Les étalons de ces deux grandeurs sont entretenus au Bureau International des Poids et Mesures à Sèvres. »

Outre la décision très importante relative au choix de l'élément de liaison entre les unités électriques et mécaniques du système Giorgi, le Comité décide, au cours de cette réunion, de soumettre à l'approbation des divers Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois, l'adoption du nom de « newton » pour l'unité de force de ce système.

La seconde guerre mondiale est venue interrompre les travaux du Comité d'Etudes des Grandeurs et unités électriques et magnétiques de la CEI. Ils n'ont repris qu'en 1950 sous la présidence du D<sup>r</sup> J.J. Smith, remplaçant le D<sup>r</sup> A.E. Kennelly, décédé en avril 1939.

Au cours de la première réunion d'après-guerre qui s'est tenue à Paris, en juillet 1950, le Comité a réglé définitivement la question du choix de la quatrième unité en recommandant l'adoption de l'ampère.

Par ailleurs, au cours de sa réunion tenue à Paris, en octobre 1954, la dixième Conférence Générale des Poids et Mesures, en exécution du vœu exprimé dans sa résolution 6 par la neuvième Conférence Générale concernant l'établissement d'un système pratique de mesures pour les relations internationales, décide d'adopter, comme unité de base, les unités suivantes :

In 1938, Technical Committee No. 24 on Electric and Magnetic Magnitudes and Units held its first meeting in Torquay (England) under the chairmanship of Dr. Clayton Sharp; its official Chairman Dr. A.E. Kennelly was unable to attend.

This meeting was chiefly concerned with the problem of a choice either of the fourth unit in the Giorgi system or the means of finding a connecting link between the electrical and the mechanical units of the same system.

At this meeting, the Committee had before it both the opinion of the Consultative Committee on Electricity of the General Conference on Weights and Measures, which was communicated to it by Professor Lombardi, and the opinion of the S.U.N. Commission of the International Union for Pure and Applied Physics, which was communicated to it by Professor Koenig. On this basis, it adopted unanimously the following resolution :

“The Committee, noting the concordant replies of the Consultative Committee on Electricity and of the S.U.N. Committee of the International Union of Pure and Applied Physics as to the choice of a fourth unit in the Giorgi (M.K.S.) System, agrees to recommend, as the connecting link between the electrical and mechanical units, the permeability of free space with the value of  $\mu_0 = 10^{-7}$  in the unrationalized system or  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$  in the rationalized system.

The Committee recognizes that any one of the following practical units, ohm, ampere, volt, henry, farad, coulomb, weber, already in use may equally serve as the fourth fundamental unit, because it is possible to derive each unit and its dimensions from any four others mutually independent”.

This resolution was accompanied by the following note :

“*Note.* — The necessity for high accuracy has usually led the National Laboratories to base the realization of the absolute units on determinations of the absolute ohm and the absolute ampere.

For purposes of technical measurements, however, the practical standards are generally those of resistance and electromotive force as they have the advantages of portability and of simplicity and accuracy in use. Standards of these two quantities are maintained by the Bureau International des Poids et Mesures at Sevres”

In addition to the very important decision concerning the connecting link between the electrical and mechanical units in the Giorgi system, the Committee decided at the same meeting to submit to the various National Committees, under the Six Months' Rule, the proposal to give the name “newton” to the unit of force in this system.

The Second World War interrupted the work of the Technical Committee on Electric and Magnetic Units of the IEC. This work was not resumed until 1950, when Dr. J.J. Smith replaced, as Chairman, Dr. A.E. Kennelly, who had died in April 1939.

At the first post-war meeting, which was held in Paris in July 1950, the Committee finally settled the question of the choice of a fourth unit by recommending the ampere.

Meanwhile the Tenth General Conference on Weights and Measures met in Paris in October 1954 and implemented Resolution 6 of the Ninth General conference concerning the setting up of a practical system of measurement for international relations, by adopting as basic units the following :

Longueur	mètre
Masse	kilogramme
Temps	seconde
Intensité de courant électrique	ampère
Température thermodynamique	degré Kelvin
Intensité lumineuse	candéla

« Au cours de la réunion tenue à Paris en octobre 1960, la onzième Conférence Générale des Poids et Mesures a décidé dans sa résolution N° 12 que le système fondé sur les six unités de base ci-dessus soit désigné sous le nom de « Système International d'Unités » et que l'abréviation internationale du nom de ce système soit : « SI » ».

Rien ne semble donc plus s'opposer à l'adoption généralisée du système M.K.S.A. aussi bien pour l'industrie et le commerce que pour l'enseignement.

C'est à cette première séance d'après guerre que le Comité d'Etudes N° 24 adopte également le principe de la rationalisation des équations du champ électromagnétique proposé, dès 1900, par l'A.I.E.E. en vue du Congrès International qui devait se tenir à Paris cette même année.

La proposition de l'A.I.E.E. avait été formulée dans les termes :

« Un grand avantage serait attaché à la rationalisation universelle des unités électriques et magnétiques et le Congrès doit être invité à considérer les moyens et l'opportunité d'obtenir cette rationalisation. »

Lors de la réunion qu'il a tenue à Paris en juillet 1950, le Comité d'Etudes N° 24 a pris, après de longues et laborieuses discussions, les deux décisions suivantes concernant la question de la « rationalisation des unités électriques et magnétiques » :

- 1) La rationalisation totale du système Giorgi est adoptée.
- 2) Les modalités de la rationalisation devront être réexaminées par les Comités nationaux après que la question leur aura été posée de nouveau d'une façon bien claire en insistant en particulier sur son double aspect :  
rationalisation des grandeurs,  
rationalisation des unités.

Il est par ailleurs précisé que l'emploi de la désignation Système Giorgi dans la première décision ne préjuge pas des modalités de la rationalisation.

Devant l'impossibilité d'aboutir à un accord international satisfaisant sur des propositions concrètes et définitives, le Comité d'Etudes N° 24 a chargé un Comité d'Experts, présidé par M. M. Landolt (Suisse), d'entreprendre l'étude des modalités de cette rationalisation dite « totale ».

Après trois réunions comportant des séances de discussions laborieuses tenues respectivement à Opatija en 1953, à Paris en octobre 1953, à Philadelphie en septembre 1954, le Comité d'Experts a soumis au Comité d'Etudes N° 24 des propositions concrètes relatives aux modalités de rationalisation des équations du champ électromagnétique à recommander par la CEI.

Les propositions du Comité d'Experts ont été examinées à la réunion de Philadelphie du Comité d'Etudes N° 24 et ont été approuvées par ce dernier; elles ont été définitivement adoptées par la CEI à l'unanimité, en juillet 1956.

Le texte adopté précise la forme sous laquelle il convient d'écrire les principales équations du champ électromagnétique dans lesquelles interviennent la perméabilité magnétique du vide  $\mu_0$  et la permittivité du vide  $\epsilon_0$ , en précisant les valeurs à adopter pour celles-ci. Ces valeurs sont :

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \quad \text{henry/mètre pour la perméabilité magnétique,}$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{c_0^2 \mu_0} \quad \text{pour la permittivité du vide, soit approximativement } 8,85 \times 10^{-12} \text{ farad/mètre}$$

Length	metre
Mass	kilogramme
Time	second
Electric current	ampere
Thermodynamic temperature	Kelvin degree
Luminous intensity	candela

“At a meeting in Paris in October 1960 the eleventh C.G.P.M. adopted Resolution No. 12 which states that the system based on the six above mentioned units shall be given the name « Système International d’Unités » (International System of Units) and the international abbreviation of the name of this system shall be SI.”

Thereafter nothing more seemed to stand in the way of the general adoption of the M.K.S.A. system, both in industrial, commercial and academic circles.

It was at this same first post-war meeting that Technical Committee No. 24 also adopted in principle the rationalization of the electromagnetic field equations, which had been proposed in 1900 by the A.I.E.E. on the occasion of the International Congress which was to assemble in Paris the same year.

The proposal of the A.I.E.E. had been formulated in the following terms :

“That much advantage would accrue to a universal rationalization of the electric and magnetic units, and that the Congress be requested to consider the means and advisability of such rationalization”.

At the meeting of Technical Committee No. 24 in Paris in July 1950, the following decisions about rationalization of electric and magnetic units were reached after long and laborious discussions :

- 1) The total rationalization is adopted for the Giorgi system.
- 2) The rationalization process shall be re-examined by the National Committees after the question has again been clearly put to them with special emphasis on its twofold aspect :

rationalization by quantities.

rationalization by units.

It was emphasized that the designation Giorgi system in the first resolution was used without prejudice to the rationalization process.

In face of the impossibility of arriving at satisfactory international agreement concerning concrete and definite proposals, Technical Committee No. 24 appointed a Committee of Experts under the chairmanship of Mr. M. Landolt (Switzerland) to undertake a study of the method of the rationalization that was referred to as “total”.

After three meetings, held respectively in Opatija in 1953, in Paris in October 1953, and in Philadelphia in September 1954, the Committee of Experts, after long and difficult discussions, submitted to Technical Committee No. 24 concrete proposals concerning the process of rationalizing the electromagnetic field equations that should be recommended by the IEC.

The proposals of the Committee of Experts were examined at the meeting in Philadelphia of Technical Committee No. 24, and were approved by it; they were finally unanimously adopted by the IEC in July 1956.

The adopted text prescribes the form in which the principal equations for the electromagnetic field are to be written and introduces into them the magnetic permeability  $\mu_0$  and the permittivity  $\epsilon_0$  of free space, defining the values to be used for them. These values are :

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \quad \text{henry/metre for magnetic permeability}$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{c_0^2 \mu_0} \quad \text{for permittivity of free space, which is approximately } 8.85 \times 10^{-12} \text{ farad/metre.}$$

A cette même première réunion d'après guerre, le Comité d'Etudes N° 24 a, d'une part, adopté définitivement le nom de « newton » pour l'unité de force du système Giorgi et décidé, de soumettre aux Comités nationaux la question de l'opportunité de donner un nom de savant à l'unité d'induction magnétique du système Giorgi pour remplacer la dénomination weber par mètre carré (myriagauss) adoptée à la réunion de Scheveningen (1935).

Au cours de la seconde réunion des experts du Comité d'Etudes N° 24, qui s'est tenue à Opatija le 30 juin 1953, différents membres exprimèrent leur opinion concernant l'opportunité de donner un nom à l'unité d'induction magnétique du système Giorgi. Après l'exposé des divers avis, le Comité d'Experts décida de charger le Comité Secrétariat du Comité d'Etudes N° 24 de consulter tous les Comités nationaux pour leur demander s'ils pourraient se déclarer d'accord pour donner le nom de « tesla » à l'unité d'induction du système Giorgi.

Cette consultation était accompagnée du commentaire reproduit ci-dessous :

*Note justificative à l'attribution du nom  
d'un savant à l'unité d'induction magnétique  
dans le système Giorgi*

La définition courante de l'induction magnétique est la densité du flux magnétique de sorte que les expressions  $\text{Wb/m}^2$  (weber/mètre carré) que certains remplacent par  $\text{V.s/m}^2$  (volt.seconde/mètre carré) pourraient suffire pour en désigner l'unité dans le système Giorgi (M.K.S.A.).

Or, la définition par la loi de la force  $F$  à laquelle est soumis un conducteur de longueur  $l$  parcouru par un courant  $I$  placé dans un champ d'induction magnétique  $B$  est plus directe. Cette définition de l'induction conduit à en représenter l'unité du système Giorgi par l'expression  $\text{N/m} \cdot \text{A}$  (newton/mètre ampère) qui, contenant trois unités, est trop longue et incommode pour l'enseignement et pour les praticiens qui en font un très grand usage.

Le besoin se fait donc sentir — comme il a d'ailleurs été éprouvé déjà dans le système E.M.C.G.S. qui dispose, pour l'unité d'induction du nom de gauss — d'un nouveau nom pour l'unité d'induction du système Giorgi.

On peut d'ailleurs rappeler que, déjà en 1930, Paul Janet, alors Président du Comité d'Etudes français de la Nomenclature, avait très sensiblement exprimé le même avis à propos de la décision prise lors du Congrès de 1900 de désigner sous le nom de gauss l'unité C.G.S. de champ magnétique :

Le texte de son intervention est reproduit ci-dessous :

« Il me paraît certain, tout d'abord, que les ingénieurs ont surtout besoin d'une unité d'induction. Il est vrai que le maxwell par centimètre carré est correct et pourrait, à la rigueur, suffire ; mais l'expression est longue et il y a intérêt à avoir un nom court ».

A la suite des réponses reçues des divers Comités nationaux et sur la proposition de son Comité d'Experts, le Comité d'Etudes N° 24 décide, à la quasi unanimité, au cours de la réunion tenue à Philadelphie les 10 et 11 septembre 1954, de soumettre à l'approbation des Comités nationaux, suivant la Règle des Six Mois, le texte de la résolution suivante :

« La CEI recommande l'adoption de nom de 'tesla' pour l'unité d'induction magnétique du système Giorgi ».

Cette recommandation a été définitivement adoptée par le Comité d'Action lors de la réunion qu'il a tenue à Munich en juillet 1956.

At the first post-war meeting of Technical Committee No. 24 in 1950, the Committee definitely adopted the name “newton” for the unit of force in the Giorgi system. It also decided to submit to National Committees the question of giving the name of a scientist to the unit for magnetic flux density in the Giorgi system to replace the term weber per square metre (myriagauss) which had been adopted at the Scheveningen meeting in 1935.

At the second meeting of the Committee of Experts of Technical Committee No. 24, which took place in Opatija on the 30th June 1953, opinions were expressed by several members concerning the proposal to find a name for the unit of magnetic flux density in the Giorgi system. After an exchange of views, the Committee of Experts decided to ask the Secretariat of Technical Committee No. 24 to consult all National Committees in order to find out if they could agree to the name “tesla” as the unit of magnetic flux density in the Giorgi system.

The invitation was accompanied by the following comment :

*Note on the reasons justifying giving  
a scientist's name to the unit of magnetic flux density  
in the Giorgi system*

A current definition of magnetic flux density is the density per unit area such that the expression  $\text{Wb/m}^2$  (weber per square metre) might appear to be sufficient to designate the unit in the Giorgi system (M.K.S.A.). Another definition is based on the law of the phenomenon of induction which gives the unit  $\text{V.s/m}^2$  (volt.second/square metre).

Now the definition given in the second edition of the International Electrotechnical Vocabulary (Term 05-25-035) is based on the law of the force  $F$  to which a conductor of length  $l$ , in which a current  $I$  flows, is subject when placed in a field of magnetic flux density  $B$ . This definition is more direct and leads to the representation of the unit in the Giorgi system by the expression  $\text{N/m}\cdot\text{A}$  (newton/metre ampere) which, containing three units, is too long and inconvenient for use in teaching and for those persons who must make wide use of it in their work.

Thus the need has made itself felt — as was felt in the electromagnetic C.G.S. system, in which the name of the unit of magnetic flux density is the gauss — of a new name for the units of magnetic induction in the Giorgi system”.

It should be recorded incidentally that as early as 1930 Paul Janet, who was at that time Chairman of the French Technical Committee on Nomenclature, had expressed practically the same opinion with reference to the decision taken by the Congress of 1900 to give the name “gauss” to the C.G.S. unit of magnetic field strength.

The text of his contribution is as follows :

“It seems to me at once clear that engineers have an urgent need for a unit for flux density. It is true that the maxwell per square centimetre is a correct term; strictly speaking it would suffice but it is a long expression and there is an advantage in having a short name”.

As a result of the replies received from various National Committees and in accordance with a recommendation of its Committee of Experts, Technical Committee No. 24 decided almost unanimously during the meeting in Philadelphia of 10th and 11th September 1954 to submit the following resolution to the National Committees for approval under the Six Months' Rule :

“The IEC recommends the adoption of the name ‘tesla’ for the unit of magnetic flux density in the Giorgi system”.

This recommendation was finally adopted by the Committee of Action at its meeting in Munich in July 1956.

Outre les questions déjà mentionnées et non encore résolues telles qu'en particulier la « rationalisation des unités électriques et magnétiques », le Comité d'Etudes N° 24 s'est vu charger, à la suite des réunions de Philadelphie, de l'étude de plusieurs autres questions dont certaines fort importantes.

Ces questions qui sont mentionnées ci-après ont donné souvent lieu à des discussions assez longues au cours des réunions que le Comité d'Etudes N° 24 a tenu à Stockholm en juillet 1958 et à Madrid en juillet 1959, toutes deux sous la présidence du Professeur C. Chambers (Etats-Unis) qui, après la réunion de Philadelphie (septembre 1954), a succédé au Dr J.J. Smith (Etats-Unis).

Parmi ces questions, il convient de citer principalement les suivantes :

- 1) Nom à donner au système d'unités M.K.S.A.
- 2) Signe à donner à la puissance réactive.
- 3) Dénomination des unités dans le système Giorgi de certaines grandeurs électriques et magnétiques n'ayant pas encore de désignation officielle.
- 4) Nom à donner à l'unité Giorgi du champ magnétique.
- 5) Changement de dénomination des grandeurs « perméabilité du vide » et « permittivité du vide ».
- 6) Relations entre les unités du système Giorgi et du système E.M.C.G.S. de la grandeur « champ magnétique ».
- 7) Définitions pour les concepts fondamentaux intéressant les grandeurs et les unités.
- 8) Confrontation des systèmes de mesure à trois et à quatre dimensions.

Les deux premières questions ont donné lieu à des décisions définitives de la part du Comité d'Etudes N° 24 lors de la réunion de Madrid (juillet 1959).

Les recommandations correspondantes figurant dans la Section Deux de la présente publication, ont été approuvées ultérieurement par le Comité d'Action de la CEI.

Au cours de cette même réunion de Madrid (juillet 1959), le Comité d'Etudes N° 24 a adopté un complément de texte pour la recommandation relative à la rationalisation des équations du champ électromagnétique. Ce complément de texte comporte un tableau donnant, pour les grandeurs électriques et magnétiques les plus importantes, les facteurs dits facteurs de conversion par lesquels il convient de multiplier les mesures des grandeurs dans les systèmes électrostatique, électromagnétique et symétrique C.G.S. pour obtenir les mesures de ces mêmes grandeurs dans le système Giorgi.

Les questions 3, 4 et 5 de la liste ci-dessus, bien que déjà discutées, n'ont cependant donné lieu à aucune décision et sont maintenues pour étude au programme des travaux ultérieurs du Comité d'Etudes N° 24.

Quant aux trois dernières questions (6, 7 et 8) liées plus ou moins directement à la question de la rationalisation, considérée comme ne justifiant plus de discussion au sein de la CEI, le Comité a décidé de les supprimer, tout au moins provisoirement, de son programme de travail.

Apart from the questions already listed and not yet settled, in particular such as the rationalization of electric and magnetic units, Technical Committee No. 24 found itself confronted after the meeting in Philadelphia with the study of several other questions of which some were very important.

These questions are mentioned below and gave rise to long and difficult discussions during the meetings of Technical Committee No. 24 in Stockholm in July 1958 and in Madrid in July 1959, both under the chairmanship of Professor C. Chambers (U.S.A.) who succeeded Dr. J.J. Smith (U.S.A.) after the Philadelphia meeting (September 1954).

The following are the more important of the further questions :

- 1) The name to be given to the M.K.S.A. system of units.
- 2) The sign to be given to reactive power.
- 3) The name to be given to units in the Giorgi system for certain electric and magnetic quantities that have not yet received official names.
- 4) The name to be given to the unit of magnetic field strength in the Giorgi system.
- 5) Change in the terms designating the quantities "permeability of free space" and "permittivity of free space."
- 6) Relation between the units in the Giorgi system and in the C.G.S. system for the quantity of magnetic field strength.
- 7) Definitions of the basic concepts that are concerned with quantities and units.
- 8) Comparison of systems of measurement with three and four dimensions.

Discussion of the two first questions gave rise to definite decisions by Technical Committee No. 24 at its meeting in Madrid (July 1959).

The corresponding recommendations, which are mentioned in Section Two of the present publication were later approved by the Committee of Action of the IEC.

During the same meeting in Madrid in July 1959, Technical Committee No. 24 adopted a rider to the form of words constituting their recommendation about the rationalization of the electromagnetic field equations. This rider included a table showing the more important electric and magnetic quantities; the conversion factors required for multiplying the measures of quantities in the electrostatic, electromagnetic and symmetrical C.C.S. systems in order to obtain the measures of these same quantities in the Giorgi system.

The questions 3, 4 and 5 in the above list were discussed, but no decisions were reached about them. They are retained on the agenda for further study by Technical Committee No. 24.

The last three questions on the list (6, 7 and 8) are more or less closely linked with the question of rationalization, which was regarded as no longer justifying discussion within the IEC. Hence the Committee decided to drop these, at least provisionally, from its programme of future work.

---

## SECTION DEUX

### LISTE DES RECOMMANDATIONS ADOPTÉES PAR LA CEI JUSQU'À PRÉSENT DANS LE DOMAINE DES GRANDEURS ET UNITÉS ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES

---

Les recommandations adoptées par la CEI figurant dans la présente publication ont été classées en quatre catégories, qui sont les suivantes :

- I — Recommandations relative à la dénomination et à l'usage des divers systèmes d'unités.
- II — Recommandations relatives à la forme des relations liant entre elles les grandeurs et les unités.
- III — Recommandations relatives à des règles particulières concernant l'usage de certaines grandeurs.
- IV — Recommandations relatives à la désignation particulière des unités de certaines grandeurs.

En face de chacune de ces recommandations, on a indiqué la date de son adoption.

Les recommandations relatives aux définitions des grandeurs et unités et à leurs symboles littéraux figurant dans d'autres publications de la CEI telles que le Vocabulaire Electrotechnique International et la publication 27 contenant les Symboles littéraux utilisés en électricité n'ont pas été reproduites dans la présente publication.

---

SECTION TWO

RECOMMENDATIONS OF THE IEC CONCERNING ELECTRIC AND MAGNETIC  
QUANTITIES AND UNITS ADOPTED UP TO DATE

---

The IEC Recommendations presented in the present document have been classed in four categories viz. :

- I — Recommendations concerning terminology and usage for the different systems or units.
- II — Recommendations concerning the relation of quantities and units among themselves.
- III — Recommendations concerning rules for the use of certain quantities.
- IV — Recommendations concerning the names to be given to the units of certain quantities.

The date is shown on which the resolution to make each recommendation was taken.

Those Recommendations concerning the definitions of quantities and units and their letter symbols which are given in other IEC publications, such as the International Electrotechnical Vocabulary and Publication 27 containing the Letter Symbols used in connection with Electricity, are not reproduced in the present publication.

---

## 1 — RECOMMANDATIONS RELATIVES A LA DÉNOMINATION ET A L'USAGE DES DIVERS SYSTÈMES D'UNITÉS

### a) **Extention de la série existante d'unités pratiques à un système pratique cohérent d'unités physiques (1933)**

*Texte de la recommandation:*

« La Section B du Comité d'Etudes N° 1 de la Nomenclature, ayant entendu avec intérêt la communication de M. Giorgi sur le système M.K.S. et se ralliant à la résolution adoptée par la Section américaine de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée à Chicago en juin 1933 \*, décide d'inviter les Comités nationaux à donner leur avis sur l'extension de la série des unités pratiques actuellement employées en électrotechnique par son incorporation dans un système cohérent ayant comme unités fondamentales de longueur, masse et temps, le mètre, le kilogramme et la seconde et comme quatrième unité soit celle de résistance définie comme étant  $10^9$  fois l'unité électromagnétique C.G.S. soit la valeur correspondante de la perméabilité de l'espace vide.» (Paris 1933) (3)

A la suite de l'adoption de cette résolution, le Comité d'Etudes N° 1 charge Giorgi de rédiger un mémorandum résumant les principes généraux d'un système cohérent répondant aux conditions précisées dans le texte de la recommandation. (7)

### b) **Adoption d'un système reposant sur quatre unités principales (M.K.S.X.) (1935)**

*Texte de la recommandation:*

« Que soit adopté le système à quatre unités fondamentales de M. Giorgi avec réserve du choix de la quatrième unité fondamentale.

Que ce système à quatre unités fondamentales soit désigné sous le nom de 'Système Giorgi'.» (Scheveningen 1935) (3)

Cette recommandation a été confirmée en 1959 par le Comité d'Etudes N° 24 et en 1960 par la CEI sous la nouvelle forme suivante :

*Texte de la recommandation:*

«La CEI recommande l'adoption de la dénomination 'Système Giorgi' pour le système fondé sur les quatre unités de base suivantes :

le mètre,  
le kilogramme,  
la seconde,  
l'ampère.

L'unité de base 'le kilogramme' est l'unité de masse du système.

Cependant, la dénomination 'Système M.K.S.A.' est également admise.

---

\* Texte de la résolution adoptée à Chicago (24 juin 1933) par la Section américaine de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée :

« Les séries existantes d'unités électriques pratiques (ohm, volt, ampère, coulomb, farad, henry, joule et watt) pourraient être étendues avec avantage à un système cohérent d'unités pratiques par l'intermédiaire des systèmes mètre, kilogramme, seconde (M.K.S.) ou centimètre, gramme (-sept)\*\* , seconde (C.G.S.S.). De ces deux systèmes, le système M.K.S. est préféré pour étude.»

\*\* La parenthèse doit être interprétée comme suit : unité de masse  $10^{-7}$  g.

I. — RECOMMENDATIONS CONCERNING TERMINOLOGY AND USAGE FOR THE DIFFERENT SYSTEMS OF UNITS

a) **Desirability of extending the existing series of practical units into a complete comprehensive system**

*Text of the Recommendation:*

“Section B of the Advisory Committee No. 1 on Nomenclature, having heard with great interest the communication from Mr. Giorgi on the M.K.S. system, and endorsing the resolution adopted by the American Section of the International Union of Pure and Applied Physics at Chicago in June, 1933 \*, decides to invite the National Committees to give their opinion on the extension of the series of practical units at present employed in electrotechnics by its incorporation in a coherent system having as fundamental units of length, mass and time, the metre, kilogramme and second, and as fourth unit either that of resistance expressed as the precise multiple  $10^9$  of the C.G.S. electromagnetic unit or the corresponding value of the space permeability of a vacuum.” (Paris 1933) (3)

After this resolution had been adopted, Technical Committee No. 1 asked Giorgi to prepare a memorandum in which the general principles for a coherent system in accordance with the conditions formulated in the text of the Recommendation were presented. (7)

b) **Adoption of a system based on four fundamental units (M.K.S.A.) (1935)**

*Text of the Recommendation:*

“That the system with four fundamental units proposed by Professor Giorgi be adopted subject to the fourth fundamental unit being eventually selected.

The system with four fundamental units shall receive the designation ‘Giorgi system’.” (Scheveningen 1935) (3)

This Recommendation was confirmed in 1959 by Technical Committee No. 24 and in 1960 by the IEC in the following form:

*Text of the Recommendation:*

“The IEC recommends the adoption of the name ‘Giorgi system’ for the system of units based upon the following four basic units:

the metre,  
the kilogramme,  
the second,  
the ampere.

The basic unit ‘kilogramme’ is the unit of mass of the system.

Nevertheless, the name ‘M.K.S.A. system’ is equally accepted.

---

\* Text of the resolution passed in Chicago (24th June 1933) by the American Section of the International Union for Pure and Applied Physics:

“The existing series of practical electrical units (ohm, volt, ampere, coulomb, farad, henry, joule and watt) could with advantage be extended to form a coherent system of practical units in physics with the help of the metre, kilogramme and second (M.K.S. system) or the centimetre, gramme (-seven) \*\* second (C.G.S. system). Of the two systems, the M.K.S. system is preferred as a subject of study.”

\*\* The bracket must be interpreted in the sense: unit of mass:  $10^{-7}$  g.

La CEI reconnaît que ceci est conforme à la décision suivante prise par le Comité International des Poids et Mesures auquel la Conférence Générale des Poids et Mesures a donné les pleins pouvoirs en ce qui concerne le choix du nom à donner au système d'unités à utiliser dans les transactions internationales, à savoir :

'Adopter la dénomination Système International d'Unités pour le système d'unités fondé sur les six unités de base adoptées par la Dixième Conférence Générale des Poids et Mesures :

le mètre,  
le kilogramme,  
la seconde,  
l'ampère,  
le candela,  
le degré Kelvin'.» (Madrid 1959) (3)

L'adoption provisoire à Philadelphie de ces recommandations avait donné lieu au commentaire suivant :

« La CEI recommande l'usage du système Giorgi dans toutes les publications et documents qu'elle édite ou qui font l'objet de discussions au sein de ses Comités d'Etudes. Toutefois, elle admet, et cela pendant une période transitoire aussi courte que possible, qu'il soit fait usage de certaines unités du système C.G.S. dans certains cas particuliers et lorsque cela est absolument nécessaire. » (Philadelphia 1954) (3)

c) **Adoption de l'unité « ampère », telle qu'elle a été sanctionnée par la Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures, comme quatrième unité principale (1950)**

*Texte de la recommandation:*

« Le Comité d'Etudes N° 24 considère qu'il convient de faire reposer le système Giorgi pour les grandeurs électriques sur quatre unités principales, et recommande que, pour l'élaboration des différentes unités, la quatrième unité principale soit de préférence l'ampère, tel qu'il est défini par la Conférence Générale des Poids et Mesures. »

La définition adoptée par la Conférence Générale des Poids et Mesures pour l'ampère est la suivante :

**«Ampère (Unité d'intensité de courant électrique)**

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 1 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. »

II. — RECOMMANDATIONS RELATIVES A LA FORME DES RELATIONS LIANT ENTRE ELLES LES GRANDEURS ET LES UNITÉS

a) **Relation entre l'induction magnétique B et le champ magnétique H (1930)**

*Texte de la recommandation:*

« La CEI considère que la formule :  $B = \mu_0 H$  représente le concept moderne des relations physiques dans les conditions magnétiques du vide, étant admis que, dans cette expression,  $\mu_0$  a des dimensions physiques. Dans les substances magnétiques, la formule précitée devient  $B = \mu H$  dans laquelle  $\mu$  a les mêmes dimensions physiques que  $\mu_0$ . Il s'ensuit que la perméabilité relative d'une substance magnétique est un nombre égal à :  $\mu/\mu_0$ . » (Oslo 1930) (3)

The IEC recognizes that this is consistent with the following decision by the Comité International des Poids et Mesures, to which the Conférence Générale des Poids et Mesures had given full powers for the choice of the name to be given to the system of units to be used in international transactions, i.e. :

‘To adopt the name *Système International d’Unités* (International System of Units) for the system of units based on the six basic units adopted by the Tenth Conférence Générale des Poids et Mesures, namely :

the metre,  
the kilogramme,  
the second,  
the ampere,  
the candela,  
the degree Kelvin.’ (Madrid 1959) (3)

The provisional adoption at Philadelphia of these Recommendations gave rise to the following comments :

“The Technical Committee No. 24 requests the Central Office to verify that the Giorgi system is used in all IEC documents and publications. However, during a transitional period, which should be as short as possible, in certain special cases, certain units of the C.G.S. system may be used when this appears to be absolutely necessary.” (Philadelphia 1954) (3)

c) **Adoption of the ampere, which has been approved by the Ninth Conférence Générale des Poids et Mesures as the fourth fundamental unit (1950)**

*Text of the Recommendation:*

“Technical Committee No. 24 considers it convenient to base the Giorgi system for electrical quantities on four principal units, and recommends that, for the purpose of developing the definitions of the units, the fourth principal unit should preferably be the ampere, as defined by the Conférence Générale des Poids et Mesures.”

The definition of the ampere adopted by the Conférence Générale des Poids et Mesures is as on the opposite page and can be translated as follows :

**“Ampere (unit of electric current)**

The constant current that, maintained in two parallel straight conductors infinitely long, all of negligibly small circular cross-section and separated in empty space at a distance of one metre, exerts between the conductors a force of  $2.10^{-7}$  newton per metre of conductor length.”

II — RECOMMENDATIONS CONCERNING THE RELATION OF QUANTITIES AND UNITS BETWEEN THEMSELVES

a) **Relation between magnetic flux density  $B$  and magnetic field strength  $H$  (1930)**

*Text of the Recommendation:*

“The IEC considers that the formula  $B = \mu_0 H$  represents the modern view concerning physical relations for magnetism in a vacuum, it being recognized that in this expression  $\mu_0$  has physical dimensions. For magnetic substances, the above formula becomes  $B = \mu H$  in which  $\mu$  has the same physical dimensions as  $\mu_0$ . It follows that the relative permeability of a magnetic substance is a number equal to :  $\mu/\mu_0$ .” (Oslo 1930) (3)

En 1935, comme suite à l'adoption de la recommandation ci-dessus, la CEI adopte la recommandation complémentaire suivante :

*Texte de la recommandation:*

«Que le symbole  $\mu_0$  pour désigner la perméabilité magnétique du vide soit maintenu et introduit dans toutes les formules où cette grandeur intervient.» (Scheveningen 1935) (3)

**b) Rationalisation des équations du champ électromagnétique (1956 et 1961)**

*Texte de la recommandation:*

«1) La rationalisation des équations du champ électromagnétique recommandée par la CEI est caractérisée par les équations principales suivantes dont la forme reste la même, que l'on considère les symboles littéraux comme représentant les grandeurs physiques entrant en jeu, ou comme représentant leurs mesures :

$$\begin{aligned} \int H ds &= \Sigma I & \iint \rho dA &= \Sigma Q \\ \Phi &= \iint B dA & \Psi &= \iint D dA \\ B &= \mu H & D &= \epsilon E \end{aligned}$$

Ces équations s'appliquent au cas où le milieu est isotrope. Le courant total ( $\Sigma I$ ) comprend dans le cas général le courant de déplacement. La perméabilité du vide ( $\mu_0$ ) a pour valeur numérique  $4\pi \cdot 10^{-7}$  lorsque l'on prend pour unité le henry par mètre. La permittivité du vide ( $\epsilon_0$ ) a pour valeur  $\frac{1}{c_0^2 \mu_0}$  soit approximativement en valeur numérique  $8,85 \cdot 10^{-12}$  lorsque l'on prend pour unité le farad par mètre.» (Munich 1956) (3)

«2) Du fait que les équations classiques de l'électromagnétisme ne sont pas rationalisées, le facteur  $4\pi$  apparaît dans les facteurs de conversion applicables aux mesures de quelques grandeurs électriques et magnétiques. Pour les différentes grandeurs intervenant dans les équations figurant dans le texte de cette résolution, le tableau ci-dessous contient :

Colonne 1 : le numéro.

Colonne 2 : la désignation de la grandeur telle qu'elle figure dans la deuxième édition du Vocabulaire Electrotechnique International.

Colonne 3 : le numéro de classification dans la deuxième édition du Vocabulaire Electrotechnique International.

Colonne 4 : le symbole littéral de la grandeur figurant dans l'édition de 1953 de la Publication 27 de la CEI concernant les symboles littéraux utilisés en électricité (2).

Colonne 5 : le nom de l'unité M.K.S.A. dans le système rationalisé.

In 1935, as a consequence of the above Recommendation, the IEC resolved on the following supplementary Recommendation :

*Text of the Recommendation:*

“That the symbol  $\mu_0$  for the magnetic permeability of a vacuum be maintained and introduced in all relevant formulae.” (Scheveningen 1935) (3)

**b) Rationalization of the electromagnetic field equations (1956 and 1961)**

*Text of the Recommendation:*

“1) The rationalization of the equations of the electromagnetic field recommended by the IEC is characterized by the following principal equations whose form remains the same whether the symbols are regarded as representing the physical quantities coming into play or are regarded as representing their numerical values :

$$\int H ds = \Sigma I$$

$$\int \int D dA = \Sigma Q$$

$$\Phi = \int \int B dA$$

$$\Psi = \int \int D dA$$

$$B = \mu H$$

$$D = \epsilon E$$

These equations apply to isotropic media. The total current ( $\Sigma I$ ) includes in the general case the displacement current. The permeability of free space ( $\mu_0$ ) has the numerical value of  $4\pi \cdot 10^{-7}$  where the unit is the henry per metre. The permittivity of free space ( $\epsilon_0$ ) has the value  $\frac{1}{c_0^2 \mu_0}$  or approximately the numerical value  $8.85 \cdot 10^{-12}$ , where the unit is the farad per metre.” (Munich 1956) (3)

“2) As the classical equations of electromagnetism are not rationalized, the factor  $4\pi$  appears in the conversion factors applicable to the measures of certain electric and magnetic quantities. For the different quantities appearing in the equations in the text for this resolution, the following table contains :

Column 1: the number.

Column 2: the name of the quantity as given in the second edition of the International Electrotechnical Vocabulary.

Column 3: the classification number in the second edition of the International Electrotechnical Vocabulary.

Column 4: the letter symbol of the quantity appearing in the 1953 edition of IEC Publication 27 concerning Letter Symbols used in Electricity.

Column 5: the name of the M. K. S. A. unit of the rationalized system.

Colonne 6: le facteur de conversion  $k_e$  par lequel il faut multiplier la valeur numérique d'une grandeur évaluée en unités électrostatiques C.G.S. pour obtenir la valeur numérique de la grandeur correspondante évaluée en unités M.K.S.A. du système rationalisé.

Colonne 7: le facteur de conversion  $k_s$  par lequel il faut multiplier la valeur numérique d'une grandeur évaluée en unités symétriques C.G.S. (Gauss) pour obtenir la valeur numérique de la grandeur correspondante évaluée en unités M.K.S.A. du système rationalisé.

Colonne 8: le facteur de conversion  $k_m$  par lequel il faut multiplier la valeur numérique d'une grandeur évaluée en unités électromagnétiques C.G.S. pour obtenir la valeur numérique de la grandeur correspondante évaluée en unités M.K.S.A. du système rationalisé.»

N°	Désignation de la grandeur d'après le V.E.I. (2 <sup>me</sup> édition)	N° de classification V.E.I. (2 <sup>e</sup> édition)	Symbole littéral	Nom et symbole de l'unité dans le système Giorgi (M.K.S.A.)	Facteurs de conversion		
					$k_e$	$k_s$	$k_m$
1	2	3	4	5	6 *	7	8
1	Elément d'arc de courbe		$ds$	mètre m	$10^{-2}$	$10^{-2}$	$10^{-2}$
2	Elément de surface		$dA$	mètre carré $m^2$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$
3	Courant électrique	05-20-040	$I$	ampère A	$10/c_0$	$k_s = k_e$	10
4	Charge électrique	05-15-010	$Q$	coulomb C	$10/c_0$		10
5	Flux de déplacement	05-15-135	$\psi$	coulomb C	$10/4\pi c_0$		$10/4\pi$
6	Déplacement **	05-15-130	$D$	coulomb par $m^2$ $C/m^2$	$10^5/4\pi c_0$		$10^5/4\pi$
7	Champ électrique	05-15-045	$E$	volt par mètre V/m	$10^{-6} c_0$		$10^{-6}$
8	Permittivité	05-15-120	$\epsilon$	farad par mètre F/m	$10^{11}/4\pi c_0^2$	$10^{11}/4\pi$	
9	Flux d'induction magnétique	05-25-035	$\phi$	weber Wb	$10^{-8} c_0$	$k_s = k_m$	$10^{-8}$
10	Induction magnétique	05-25-030	$B$	tesla T	$10^{-4} c_0$		$10^{-4}$
11	Champ magnétique	05-25-020	$H$	ampère par mètre A/m	$10^3/4\pi c_0$		$10^3/4\pi$
12	Perméabilité	05-25-045	$\mu$	henry par mètre H/m	$4\pi c_0^2/10^7$		$4\pi/10^7$

\* «  $c_0$  » est la valeur numérique de vitesse de la propagation des ondes électromagnétiques dans le vide, mesurée en cm/s.

\*\* Dans les systèmes électromagnétique, électrostatique et symétrique C.G.S., la grandeur  $D$  (déplacement) doit s'interpréter comme s'écartant de la définition de Maxwell et donne l'expression  $\int DdA = 4\pi Q$  pour le flux de déplacement à travers une surface close renfermant une charge électrique totale  $Q$ : dans ce cas, la grandeur  $D$  s'appelle quelquefois « induction électrique ».

Column 6: the conversion factor  $k_e$  by which one must multiply the numerical value of a quantity evaluated in the electrostatic C.G.S. unit to obtain the numerical value of the corresponding quantity evaluated in the M.K.S.A. unit of rationalized system.

Column 7: the conversion factor  $k_s$  by which one must multiply the numerical value of a quantity evaluated in the symmetric C.G.S. unit to obtain the numerical value of the corresponding quantity evaluated in the M.K.S.A. unit of the rationalized system.

Column 8: the conversion factor  $k_m$  by which one must multiply the numerical value of a quantity evaluated in the electromagnetic C.G.S. unit to obtain the numerical value of the corresponding quantity evaluated in the M.K.S.A. unit of the rationalized system.»

No.	Name of the quantity according to the I.E.V. (second edition)	Classification number in the I.E.V. (2nd edit.)	Letter symbol	Name and symbol of the unit in the Giorgi system (M.K.S.A.)	Conversion factors		
					$k_e$	$k_s$	$k_m$
1	2	3	4	5	6*	7	8
1	Element of arc of curve		$ds$	metre m	$10^{-2}$	$10^{-2}$	$10^{-2}$
2	Element of surface		$dA$	square metre $m^2$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$
3	Electric current	05-20-040	$I$	ampere A	$10/c_0$	$k_s = k_e$	10
4	Electric charge	05-15-010	$Q$	coulomb C	$10/c_0$		10
5	Electric flux	05-15-135	$\psi$	coulomb C	$10/4\pi c_0$		$10/4\pi$
6	Displacement (**)	05-15-130	$D$	coulomb per square metre $C/m^2$	$10^5/4\pi c_0$	$k_s = k_m$	$10^5/4\pi$
7	Electric field strength	05-15-045	$E$	volt per metre V/m	$10^{-6} c_0$		$10^{-6}$
8	Permittivity	05-15-120	$\epsilon$	farad per metre F/m	$10^{11}/4\pi c_0^2$		$10^{11}/4\pi$
9	Magnetic flux	05-25-035	$\phi$	weber Wb	$10^{-8} c_0$	$k_s = k_m$	$10^{-8}$
10	Magnetic flux density	05-25-030	$B$	tesla T	$10^{-4} c_0$		$10^{-4}$
11	Magnetic field strength	05-25-020	$H$	ampere per metre A/m	$10^3/4\pi c_0$		$10^3/4\pi$
12	Permeability	05-25-045	$\mu$	henry per metre H/m	$4\pi c_0^2/10^7$		$4\pi/10^7$

\* " $c_0$ " is the numerical value of speed of propagation of electromagnetic waves in vacuo, measured in cm/s.

\*\* In the electrostatic, electromagnetic and symmetric C.G.S. systems, the quantity " $D$ " (displacement) must be interpreted deviating from Maxwell's original definition, and gives the expression  $\int DdA = 4\pi Q$  for the flux of displacement across a closed surface embracing a total electric charge  $Q$ ; in this case the quantity  $D$  is sometimes called "electric induction".

### III — RECOMMANDATIONS RELATIVES A DES RÈGLES PARTICULIÈRES CONCERNANT L'USAGE DE CERTAINES GRANDEURS

#### a) **Signe à donner à la grandeur « puissance réactive » (1959)**

*Texte de la recommandation:*

« La CEI recommande d'affecter le signe positif à la puissance réactive absorbée par une bobine de réactance.

*Note:* — La CEI considère la puissance réactive comme pouvant être produite, transmise ou absorbée avec la convention qu'un condensateur en produit et qu'une bobine de réactance en absorbe. En conséquence, l'utilisation des adjectifs 'inductive' et 'capacitive' n'est plus nécessaire en relation avec le terme 'puissance réactive'. » (Madrid 1959) (3)

#### b) **Représentation vectorielle de la puissance réactive (1935)**

*Texte de la recommandation:*

« La CEI recommande de représenter dans les diagrammes vectoriels de puissance, la puissance réactive fournie à une inductance par un vecteur dirigé vers le bas (sens de la susceptance dans le diagramme de l'admittance de la bobine) la puissance active fournie à la même bobine étant représentée par un vecteur dirigé vers la droite. » (Scheveningen 1935) (3)

*Note.* — Pour autant que la convention est telle qu'un vecteur dirigé vers le bas représente une grandeur négative, la résolution de Scheveningen de 1935 est invalidée par la résolution de Madrid de 1959. (Bucarest 1962) (3)

### IV — RECOMMANDATIONS RELATIVES A LA DÉSIGNATION DES UNITÉS DE CERTAINES GRANDEURS

Ainsi qu'il a été mentionné plus haut, les définitions et les symboles littéraux des unités n'ont pas été reproduits dans la présente publication.

#### a) **Unités du système électromagnétique C.G.S. (3)**

La CEI a recommandé l'adoption des noms suivants :

oersted	pour l'unité de champ magnétique (1930)
gauss	pour l'unité d'induction magnétique (1930)
maxwell	pour l'unité de flux d'induction magnétique (1930)
gilbert	pour l'unité de force magnétomotrice (1930).

#### b) **Unités du système électrostatique C.G.S.**

La CEI n'a formulé aucune recommandation relative aux noms de savants à donner à des unités de ce système.

### III — RECOMMENDATIONS CONCERNING RULES FOR THE USE OF CERTAIN QUANTITIES

#### a) Sign of reactive power (1959)

*Text of the Recommendation:*

“The IEC recommends that the positive sign be given to the reactive power absorbed by an inductor.

*Note.* — The IEC considers that reactive power can be produced, transmitted and absorbed with the convention that a capacitor produces it and an inductor absorbs it. In consequence, the use of the adjectives “inductive” and ‘capacitive’ is no longer necessary in connection with the term ‘reactive power.’” (Madrid 1959) (3)

#### b) Triangular power diagrams (1935)

*Text of the Recommendation:*

“The IEC recommends that, in triangular vectorial power diagrams, the reactive power supplied to a reactance coil should be represented by a vector directed downwards (direction of the susceptance in the admittance diagram of the coil), and the active power supplied to the coil should be represented by a vector directed to the right.” (Scheveningen 1935) (3)

*Note.* — In so far as convention treats a vector directed downwards as representing a quantity with a negative sign, the resolution of Scheveningen 1935 is rendered invalid by the resolution of Madrid 1959. (Bucharest 1962) (3)

### IV — RECOMMENDATIONS CONCERNING THE NAMES TO BE GIVEN TO THE UNITS OF CERTAIN QUANTITIES

As has been mentioned above, definitions and letter symbols of units are not quoted in the present document.

#### a) Units in the electromagnetic C.G.S. system (3)

The IEC recommends the following names for units :

oersted	for the unit of magnetic field strength (1930)
gauss	for the unit of magnetic flux density (1930)
maxwell	for the unit of magnetic flux (1930)
gilbert	for the unit of magnetomotive force (1930).

#### b) Units in the electrostatic C.G.S. system

The IEC has not made any recommendations to give the name of scientists to units in this system.

c) **Unités du système Giorgi (3)**

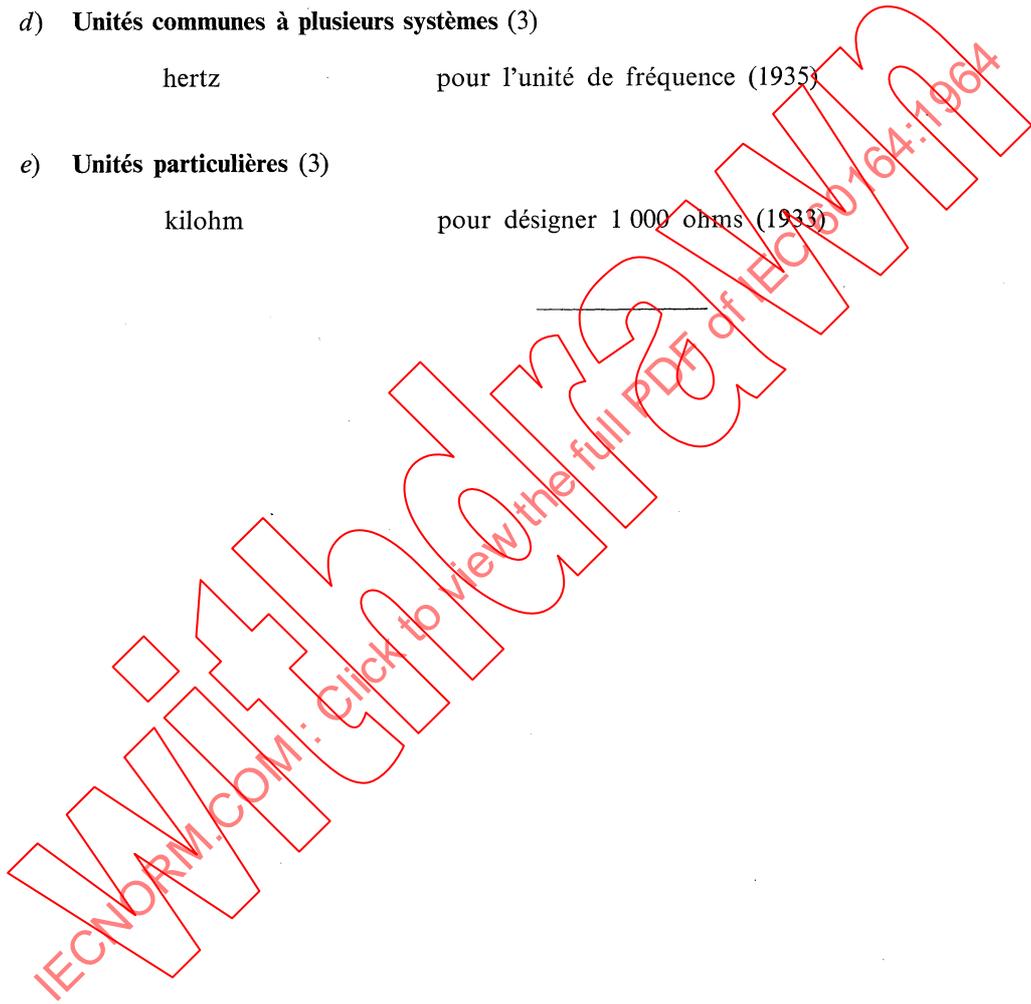
ampère par mètre	pour l'unité de champ magnétique (1954)
tesla	pour l'unité d'induction magnétique (1956)
weber	pour l'unité de flux d'induction magnétique (1935)
volt par mètre	pour l'unité de champ électrique (1935)
siemens	pour l'unité de conductance (1935)
var	pour l'unité de puissance réactive (1930)
newton	pour l'unité de force (1938)
joule par mètre cube	pour l'unité de densité d'énergie (1935).

d) **Unités communes à plusieurs systèmes (3)**

hertz	pour l'unité de fréquence (1935)
-------	----------------------------------

e) **Unités particulières (3)**

kilohm	pour désigner 1 000 ohms (1933)
--------	---------------------------------



**c) Units in the Giorgi system (3)**

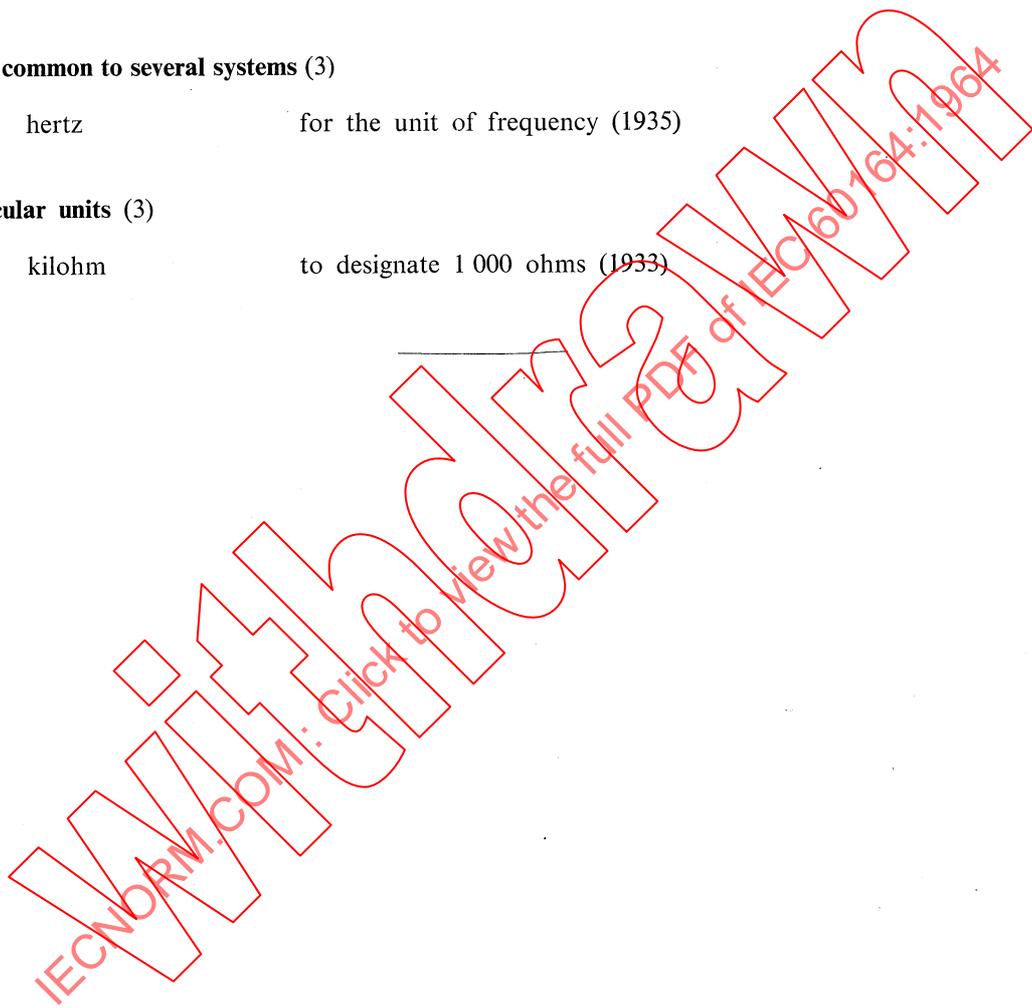
ampere per metre	for the unit of magnetic field strength (1954)
tesla	for the unit of magnetic flux density (1956)
weber	for the unit of magnetic flux (1935)
volt per metre	for the unit of electric field strength (1935)
siemens	for the unit of conductance (1935)
var	for the unit of reactive power (1930)
newton	for the unit of force (1938)
joule per cubic metre	for the unit of density of energy (1935).

**d) Units common to several systems (3)**

hertz	for the unit of frequency (1935)
-------	----------------------------------

**e) Particular units (3)**

kilohm	to designate 1 000 ohms (1933)
--------	--------------------------------



SECTION TROIS

BIBLIOGRAPHIE

- 
- (1) Vocabulaire Electronique International  
Publication 50(05) de la CEI — 1954.
- (2) Symboles littéraux utilisés en électricité  
Publication 27 de la CEI — édition 1953.
- (3) Comptes rendus des réunions des Comités d'Etudes et des Comités d'Experts de la CEI traitant des questions relatives aux grandeurs et unités électriques et magnétiques :
- |                     |                   |        |
|---------------------|-------------------|--------|
| — RM 77             | Stockholm et Oslo | (1930) |
| — RM 97             | Londres           | (1931) |
| — RM 105            | Paris             | (1933) |
| — RM 118            | Scheveningen      | (1935) |
| — RM 173            | Torquay           | (1938) |
| — RM 229            | Paris             | (1950) |
| — RM 315/CE 24 Exp. | Opatija           | (1953) |
| — RM 319/CE 24 Exp. | Paris             | (1953) |
| — RM 354/CE 24 Exp. | Philadelphie      | (1954) |
| — RM 355            | Philadelphie      | (1954) |
| — RM 510            | Stockholm         | (1958) |
| — RM 547            | Madrid            | (1959) |
| — RM 719            | Bucarest          | (1962) |
- (4) Rapport du Comité des Normes électriques de la « British Association » publié par la « Cambridge University Press » (1913).
- (5) Comptes rendus des travaux du Congrès International des Electriciens de 1881.
- (6) Historical Outlines of the Electrical Units, par A.E. Kennelly — Journal of Engineering Education — Vol. XIX, N° 3, Page 229, novembre 1928.
- (7) Memorandum sur le système M.K.S. d'unités pratiques, par G. Giorgi M.I.E.E. — Publication faite par le Bureau Central de la CEI en septembre 1954.
- (8) The M.K.S. System of Giorgi as adopted by IEC in June 1935, par A.E. Kennelly — Journal of Engineering Education — Vol. XXVII, N° 4, page 290, décembre 1936.
- (9) Procès-verbaux du Comité International des Poids et Mesures, 1946, Tome XX, page 132.
-