Coordination des unités mécaniques et électriques en un système “ pratique ” international : formules classiques ou rationalisées ?

P. Fleury

► To cite this version:

P. Fleury. Coordination des unités mécaniques et électriques en un système “ pratique ” international : formules classiques ou rationalisées ?. J. Phys. Radium, 1948, 9 (2), pp.33-38. 10.1051/jphys-rad:019480090203300 . jpa-00234082

HAL Id: jpa-00234082

<https://hal.science/jpa-00234082>

Submitted on 1 Jan 1948

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LE JOURNAL DE PHYSIQUE

ET

LE RADIUM

COORDINATION DES UNITÉS MÉCANIQUES ET ÉLECTRIQUES EN UN SYSTÈME « PRATIQUE » INTERNATIONAL : FORMULES CLASSIQUES OU RATIONALISÉES? ⁽¹⁾

Par P. FLEURY.

Conservatoire National des Arts et Métiers.

Sommaire. — Rappel des caractères du système Giorgi (mètre, kilogramme-masse, seconde, unités électriques pratiques) préconisé comme système international. Désignation usuelle des unités dérivées. Terminologie restant à fixer (Newton, constantes diélectriques et perméabilités magnétiques absolues et relatives).

Comparaison des principales formules « classiques » et « rationalisées » en électricité et magnétisme. Nécessité d'un accord général.

1. Nos unités mécaniques métriques se rattachent à quatre systèmes cohérents différents, nos unités magnétiques et électriques à trois systèmes (et je ne parle pas des unités anglo-saxonnes). Cette abondance de biens peut paraître nuisible : comment simplifier ? Votre avis à ce sujet est demandé, comme celui des physiciens des autres pays.

On soutient parfois cette opinion que les « changements d'unités » offrent l'occasion d'exercices de raisonnement... et d'arithmétique dont il serait fâcheux de se priver; mais il est permis de penser qu'on éviterait des pertes de temps inutiles (et des risques d'erreur) par l'adoption d'un système cohérent unique, comme par celle, malheureusement plus difficile, d'une langue internationale commune.

Le sujet a fait l'objet déjà de bien des débats; si je me permets d'y revenir (en m'efforçant d'être très bref), c'est, tout d'abord, parce que notre Société de Physique s'en est moins occupée, je crois, que celle des Électriciens, par exemple, bien qu'ici même aient trouvé place d'intéressantes controverses entre Langevin, Abraham, M. Brylinski, et d'autres... [14]. C'est, surtout, parce que, peu à peu, des organismes très divers [2, 3, 7, 13, 17],

au premier rang desquels le Comité international des Poids et Mesures [6], et tout récemment, reprenant une étude ancienne [10], la Commission des Unités de l'Union internationale de Physique, se sont orientés vers une solution qui semble pouvoir conduire à un accord général.

2. Notons bien que l'adoption d'un système commun d'unités *pour l'usage international* n'interdirait pas l'emploi d'autres unités jugées plus avantageuses pour traiter certains sujets spéciaux (en physique théorique, par exemple), ou dont l'usage dans tel ou tel pays est trop répandu pour que leur abandon puisse être envisagé.... Il serait seulement prévu que, dans les publications scientifiques et techniques, voire commerciales, utilisant un autre système, les valeurs en unités internationales des grandeurs considérées devraient être également indiquées.

On peut se demander, d'ailleurs, en ce qui concerne la France, si, *une fois l'accord international acquis*, le système dont nous allons parler ne pourrait pas être substitué avec avantage à notre système légal actuel (M. T. S.).

3. En 1935, la Commission électrotechnique internationale (C. E. I.) a adopté le système d'unités mécaniques dérivées du mètre, du kilogramme-

⁽¹⁾ Exposé fait à la Société française de Physique, le 19 décembre 1947.

Les numéros entre crochets renvoient à la bibliographie, à la fin de l'article.

masse et de la seconde, comme permettant un rattachement cohérent avec les unités électriques pratiques (coulomb, ampère, volt, etc.). La C. E. I. convenait par suite (en accord avec une décision antérieure) de considérer l'induction B et le champ magnétique H comme des grandeurs différentes : leur rapport μ s'exprime en unités déterminées, et n'est pas un nombre pur ⁽²⁾. Elle confirmait en même temps l'adoption du nom de *weber* pour l'unité pratique de flux d'induction magnétique, et celle des noms de *herz* et *siemens* pour les unités pratiques de fréquence et de conductance.

Les discussions qui ont abouti à ces décisions ont été résumées dans un important article de A. E. Kennelly, traduit et commenté par M. Brylinski [13]; une étude critique très détaillée vient aussi d'être faite par M. Grivet [11].

Bornons-nous à rappeler que le système adopté est, dans son ensemble, celui qu'avait proposé dès 1901, Giorgi [9]. Depuis longtemps, on se rendait compte qu'il était nécessaire, une fois adoptées les unités électriques pratiques, de les rattacher à un système mécanique, pour pouvoir utiliser commodément les formules où interviennent des forces, par exemple. Le choix de la seconde, de l'ampère et du volt, entraînant celui du joule, exclut évidemment le système inch-pound, ainsi que celui du kilogramme-force; il exclut aussi les systèmes C. G. S. et M. T. S., qui ont respectivement pour unités de travail l'erg et le kilojoule. Mais il est compatible avec l'emploi du système mètre, kilogramme-masse, seconde, qu'on est ainsi conduit à recommander pour l'usage courant.

4. L'examen de ce système appelle quelques remarques.

Les masses *spécifiques* s'expriment, en kilogrammes par mètre cube, par des nombres 1000 fois plus grands que les densités par rapport à l'eau, ce qui paraît à certains un inconvénient ⁽³⁾, mais facilite la discrimination nécessaire entre ces deux grandeurs.

L'unité de *force* (qui, appliquée à une masse de 1 kg lui communique une accélération de 1 m : s²) pourrait être appelée *joule* par mètre, mais il semble presque indispensable de lui donner un nom particulier. Celui de *newton* (abréviation N) est déjà très généralement utilisé, en France et dans certains pays étrangers : une décision officielle est souhaitable. La valeur du newton est 10⁵ dynes = 1 millisthène = 102 g-force.

Le nom de pascal, qui a été proposé à l'A. F. N. O. R. [2], pour l'unité de *pression*, est jusqu'ici peu employé. Cette unité, le *newton par*

mètre carré, vaut 10 baryes, ou 1 millipieze; sa petitesse sera souvent gênante. L'hectopieze (méga-barye), dont la valeur (intermédiaire entre l'atmosphère et le kilogramme-force par centimètre carré), est bien adaptée à la mesure des moyennes et fortes pressions, s'appellerait dans le système Giorgi hectokilonewton par mètre carré. On peut songer à lui donner un nom plus commode (celui de *bar* est déjà en usage), mais le système cessera alors d'être parfaitement cohérent....

5. Passons aux unités électriques et magnétiques.

Aux trois unités mécaniques fondamentales, il suffit d'en associer une quatrième de nature électrique pour que, les équations de définition usuelles étant conservées, toutes les autres unités en découlent. Laquelle choisir : ohm, coulomb, ampère ou encore unité de perméabilité ? On en a beaucoup discuté [6, 11, 13]; cela n'a qu'un intérêt théorique ⁽⁴⁾.

Adoptons, pour fixer les idées, l'*ampère*, qui a sur l'ohm l'avantage de conduire à des équations de dimensions s'exprimant en puissances entières. On peut, sans passer par l'intermédiaire des unités C. G. S. E. M., le définir comme « le courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles rectilignes de longueur infinie, placés à une distance de 1 m l'un de l'autre dans le vide, produit entre ces conducteurs une force égale à 2 · 10⁻⁷ newton par mètre de longueur ». On en déduit immédiatement les définitions bien connues du volt et de l'ohm, du weber et du coulomb, du henry et du farad.

De ces sept noms, on peut faire dériver ceux des autres unités, comme l'indique le Tableau I (colonne 2); ils sont faciles à retenir si l'on pense aux relations rappelées dans la colonne 4; les rapports avec les unités C. G. S. (colonne 3) se retrouvent aussi aisément. Par exemple, la formule de Biot et Savart montre que H s'exprime en ampères par mètre, unité qui vaut 10⁻¹ × 10⁻² C. G. S. E. M. (œrsted), etc. (Nous avons, comme l'a proposé Guggenheim [12] utilisé le nom de *franklin* pour l'unité C. G. S. E. S. de charge électrique.)

Remarquons ici que, de même qu'on exprime les intensités lumineuses en bougies et les flux lumineux en bougies × stéradians (appelés lumens), de même on devrait évaluer les flux de déplacement en coulombs × stéradians; et inversement, conservant le weber pour unité de flux d'induction, mesurer

⁽²⁾ On sait que la thèse contraire a trouvé naguère des défenseurs convaincus [1].

⁽³⁾ C'est le souci de conserver à la masse spécifique de l'eau la valeur numérique 1 qui a conduit à choisir la tonne comme unité de masse du système M. T. S.

⁽⁴⁾ Giorgi introduisait comme « quatrième unité fondamentale » l'ohm (international). Depuis lors, la Commission internationale des Poids et Mesures, en adoptant les unités électriques pratiques « absolues », a considéré que la liaison entre les unités mécaniques et électriques peut être réalisée soit en attribuant à la perméabilité magnétique du vide (non rationalisée) la valeur 10⁻⁷ (Henry par mètre) soit, d'une manière équivalente, en partant de la définition de l'ampère rappelée ci-après.

TABLEAU I. — *Principales unités électriques et magnétiques « pratiques ».*

Rappel : $A = \frac{W}{\Lambda}$, $\Omega = \frac{V}{\Lambda}$, $C = A \cdot s$, $Wb = V \cdot s$, $F = \frac{C}{V}$, $H = \frac{Wb}{\Lambda}$.

UNITÉS ÉLECTRIQUES				UNITÉS MAGNÉTIQUES			
Grandeur et symbole. 1.	Unité pratique. 2.	Valeur en C. G. S. E. S. 3.	Relations de référence. 4.	Grandeur et symbole. 1.	Unité pratique. 2.	Valeur en C. G. S. E. S. 3.	Relations de référence. 4.
Champ électrique $E \dots$	$\frac{V}{m} \left(= \frac{N}{A \cdot s} \right)$	$\frac{1}{3 \cdot 10^4} \frac{\text{dyne}}{\text{franklin}}$	$E = \frac{F}{Q} = -\text{grad } V$	Champ magnét.* $H \dots$	$\frac{A}{m} \left(= \frac{N}{V \cdot s} \right)$	10^{-3} œrsted	Biot et Savart : $dH = \frac{I ds}{r^2} \sin \alpha$
Déplacement élect.* $D \dots$	$\frac{C}{m^2} \left(= \frac{N}{V \cdot m} \right)$	$3 \cdot 10^3 \frac{\text{franklin}}{\text{cm}^2}$	Gauss : $\Phi_{\text{de B}} = 4\pi \Sigma Q_{\text{int}}$	Induction magnét. $B \dots$	$\frac{Wb}{m^2} \left(= \frac{N}{A \cdot m} \right)$	10^4 gauss	Laplace : $dF = BI ds \sin \alpha$
Constante diélectr.* $\epsilon = \frac{D}{E} \dots \dots$	$\frac{F}{m} \left(= \frac{A \cdot s}{V \cdot m} \right)$	$9 \cdot 10^9 \frac{\text{frankl}^2}{\text{dyne} \cdot \text{cm}^2}$	Condensateur fermé : $C = \epsilon \frac{S}{4\pi e}$	Perméabilité magnét.* $\mu = \frac{B}{H} \dots \dots$	$\frac{H}{m} \left(= \frac{V \cdot s}{A \cdot m} \right)$	$10^7 \frac{\text{gauss}}{\text{œrsted}}$	Solénoïde : $L = \mu \frac{4\pi n^2}{l} S$
Moment électrique.....	C.m	$3 \cdot 10^{11}$		Moment magnét.* $M \dots$	Wb.m	10^{10}	Couple : $MH \sin \theta$
Polarisation élect. $P \dots$	$\frac{C}{m^2}$	$3 \cdot 10^3$	$D = \epsilon_0 E + 4\pi P$	Int. d'aimantation* $J \dots$	$\frac{Wb}{m^2}$	10^3	$B = \mu_0 H + 4\pi J$
				Masse magnét.* $m \dots$	Wb	10^8	Gauss : $\Phi_{\text{de B}} = 4\pi \Sigma m_{\text{int}}$

N.B. — Constante diélectrique du vide : $\epsilon_0 = \frac{1}{9 \cdot 10^9} \frac{F}{m}$; Perméabilité magnétique du vide : $\mu_0 = 10^{-7} \frac{H}{m}$.

*Grandeurs susceptibles de « rationalisation ».

les masses magnétiques en webers:stéradian, etc. Nous y reviendrons plus loin.

6. Insistons sur un point essentiel : la constante diélectrique du vide ϵ_0 , et sa perméabilité magnétique μ_0 , qui valaient respectivement 1 (franklin² par dynes-cm²) dans le système C. G. S. E. S. et 1 (gauss par œrsted) dans le système C. G. S. E. M., valent dans le système pratique $\frac{1}{9 \cdot 10^9} F : m$ et $10^{-7} H : m$. Elles satisfont, comme on sait, à la condition $\epsilon_0 \mu_0 c^2 = 1$, c étant la vitesse de la lumière dans le vide ⁽⁵⁾.

Ces valeurs doivent être retenues par cœur, c'est la rançon de notre unification, avec la nécessité d'explicitier ϵ_0 et μ_0 dans un certain nombre de formules relatives au vide.

⁽⁵⁾ Si au lieu de la valeur approchée $3 \cdot 10^8$ m : s, on admet pour c la valeur $2,998 \cdot 10^8$ m : s, celle de ϵ_0 devient $0,1113 \cdot 10^{-9} F : m$.

Il sera naturellement nécessaire de distinguer, comme cela a été admis par la C. E. I., la perméabilité magnétique absolue μ d'un milieu et sa *perméabilité relative* (par rapport au vide) $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$. On considérera

de même sa *constante diélectrique relative* $\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$; μ_r et ϵ_r sont des nombres purs, ce sont eux que donnent les tables de constantes ⁽⁶⁾.

Le Tableau I met en évidence entre la dérivation des grandeurs électriques et celle des grandeurs magnétiques une correspondance remarquable. Nous n'y avons fait apparaître qu'à titre accessoire la grandeur « masse magnétique » qui prête, comme l'on sait, à la critique [1, 15]. Nous avons d'autre part, conservé au « moment magnétique » sa définition habituelle et non celle qui l'égalise au quotient

⁽⁶⁾ Des notations différentes sont encore utilisées : voir notamment BRUHAT, *Cours d'Électricité*, 3^e édition et GUGGENHEIM [12 bis]. Un accord général est désirable.

TABLEAU II. — Définitions et formules « classiques » et « rationalisées ».

ÉLECTROSTATIQUE			ÉLECTROMAGNÉTISME		
Grandeur.	Système		Grandeur.	Système	
	classique	rationalisé.		classique.	rationalisé.
Déplacement électrique..... Constante diélectrique.....	D $\varepsilon = \frac{D}{E}$	$D' = \frac{D}{4\pi}$ $\varepsilon' = \frac{D'}{E} = \frac{\varepsilon}{4\pi}$	Champ magnétique..... Perméabilité magnétique.....	H $\mu = \frac{B}{H}$	$H' = \frac{H}{4\pi}$ $\mu' = \frac{B}{H'} = 4\pi\mu$
Polarisation électrique.....	$P = \frac{1}{4\pi} (D - \varepsilon_0 E)$	$P = D' - \varepsilon'_0 E$	Moment magn. : d'un dipôle.... » courant... Masse magnétique. Intensité d'aimantation.....	$M = m.l$ $M = \mu.S.I$ m $J = \frac{1}{4\pi} (B - \mu_0 H)$	$M' = m'.l = 4\pi.M$ $M' = \mu'.SI = 4\pi.M$ $m' = 4\pi.m$ $J' = 4\pi.J = B - \mu'_0 H'$
Flux de D (S fermée)..... Loi de Coulomb (vide).....	$\psi = 4\pi \sum Q$ $F = \frac{1}{\varepsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{x^2}$	$\psi' = \sum Q$ $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon'_0} \frac{Q_1 Q_2}{x^2}$	Flux de B (S fermée)..... Loi de Coulomb (vide).....	$\Phi = 4\pi \sum m$ $F = \frac{1}{\mu_0} \frac{m_1 m_2}{x^2}$	$\Phi' = \sum m'$ $F = \frac{1}{4\pi\mu'_0} \frac{m'_1 m'_2}{x^2}$
Capacité d'un condensateur : plan..... sphérique....	$C = \frac{\varepsilon S}{4\pi e}$ $C = \varepsilon \frac{R_1 R_2}{R_1 - R_2}$	$C = \frac{\varepsilon' S}{e}$ $C = 4\pi\varepsilon' \frac{R_1 R_2}{R_1 - R_2}$	Relation de Biot et Savart..... Champ solénoïde.. » conducteur rectiligne.....	$dH = \frac{I ds \sin \alpha}{r^2}$ $H = 4\pi \frac{n}{l} I$ $H = \frac{2I}{r}$	$dH' = \frac{1}{4\pi} \frac{I ds \sin \alpha}{r^2}$ $H' = \frac{n}{l} I$ $H' = \frac{1}{4\pi} \frac{2I}{r}$
Relations de Maxwell.....	$\left. \begin{aligned} \text{rot } E &= -\frac{\partial B}{\partial t} \\ \text{div } B &= 0 \\ \text{rot } H &= \frac{\partial D}{\partial t} + 4\pi i \\ \text{div } D &= 4\pi \rho \end{aligned} \right\}$	$\left. \begin{aligned} &\text{sans changement} \\ \text{rot } H' &= \frac{\partial D'}{\partial t} + i \\ \text{div } D' &= \rho \end{aligned} \right\}$	Diff. de potentiel magnétique.... Force magnétomotrice..... Réductance magnétique.....	$U_A - U_B = \int_A^B H dl$ $= I(\Omega_A - \Omega_B)$ $\mathcal{F} = 4\pi n I$ $\mathcal{R} = \frac{1}{\mu} \frac{l}{S}$	$U'_A - U'_B = \int_A^B H' dl$ $= I \frac{\Omega_A - \Omega_B}{4\pi}$ $\mathcal{F}' = n I$ $\mathcal{R}' = \frac{1}{\mu'} \frac{l}{S} = \frac{\mathcal{R}}{4\pi}$

du couple mécanique maximum par l'induction (au lieu du champ) [16, 18].

7. Enfin, dans la colonne 1 du Tableau I, nous avons indiqué (en les marquant d'une étoile) celles des grandeurs pour lesquelles une *rationalisation* a été proposée. Que faut-il entendre par là ? Tentons de l'expliquer rapidement, pour ceux à qui ces questions ne seraient pas familières. « Rationaliser », c'est, peut-on dire, choisir des conventions simplifiant le mieux possible les formules les plus usuelles; malheureusement, le choix de ces dernières n'est

pas exempt d'arbitraire, ni, par suite, celui de la meilleure rationalisation...

Les formules sont, ne l'oublions pas, des relations entre les valeurs numériques des grandeurs dont on s'occupe. On peut, pour simplifier telle ou telle formule, faire varier ces valeurs numériques en modifiant les unités correspondantes. Ainsi la relation entre un angle au centre α et l'arc a qu'il découpe sur un cercle de rayon r , s'écrit (a et r étant mesurés avec la même unité) : $\alpha = \frac{a}{r}$ ou $\frac{a}{2\pi r}$, suivant qu'on exprime α en « radians » ou en « tours ».

Mais la période T d'un mouvement circulaire uniforme, de vitesse angulaire ω , s'écrit : $T = \frac{2\pi}{\omega}$

ou bien $T = \frac{1}{\omega}$ suivant qu'on exprime ω en radians par seconde ou en tours par seconde. Des deux unités, radian et tour, c'est donc l'une ou l'autre qui, suivant le cas, apparaît la plus rationnelle....

Le Tableau II indique les principales modifications de définitions et de formules intervenant en électricité et magnétisme, quand on applique la rationalisation la plus répandue. (D'autres sont possibles, et ont été aussi préconisées [4, 8]). Cette rationalisation tend à simplifier, par suppression d'un facteur 4π , l'expression du théorème de Gauss, et par suite, celle de la capacité d'un condensateur plan, celles du champ dans un solénoïde, de la densité d'énergie dans un champ, etc. Mais le même facteur vient alors compliquer d'autres relations : celles de Coulomb, qui bien qu'on ne doive les employer que sous certaines réserves [1, 11, 15], ont encore leur intérêt, celle de Biot et Savart, celles qui donnent la capacité d'un condensateur sphérique ou le champ d'un conducteur rectiligne indéfini....

Nous pensons, avec Guggenheim [12 bis], et contrairement à ce que l'on dit habituellement, que la rationalisation ainsi présentée *ne porte pas sur les unités*. Celles-ci (dans un système basé sur des unités fondamentales déterminées) conservent leur nom : qu'on rationalise ou non, les champs magnétiques, par exemple, s'expriment en ampères par mètre, non en « 4π A : m » ; les susceptibilités ($\chi = \frac{\mu_r - 1}{4\pi}$ et $\chi' = \mu_r' - 1$) s'expriment en unités arithmétiques, non en « inverses de 4π ».... Si l'on attribue à la constante diélectrique du vide la valeur rationalisée : 8, 85, 10^{-12} F : m, au lieu de la valeur non rationalisée 4π fois plus grande, on parle évidemment de deux grandeurs proportionnelles, mais pas de la même ! Le changement de valeurs numériques nécessaire pour modifier les formules n'est ici possible que par un *changement des grandeurs* correspondantes ; il n'est pas convenable de leur conserver le même nom. C'est pourtant ce qu'on fait le plus souvent ! (7).

8. La rationalisation, préconisée dès 1822 par Heaviside, et appliquée par Lorentz au système C. G. S. « mixte » de Gauss, a été adoptée avant et pendant la guerre, pour le système Giorgi, par un assez grand nombre d'électriciens étrangers, principalement en Allemagne et en Italie. D'autres, et

notamment la grande majorité des électriciens français, lui restent opposés.

Tout récemment encore, le Professeur roumain Budeanu [5] l'a critiquée vigoureusement. Elle est, juge-t-il, sans avantage réel, car quand on part des mêmes données (intensités, potentiels, épaisseurs, surfaces, nombres de tours) pour chercher les mêmes inconnues, telles que flux magnétiques, forces, énergies..., on est conduit aux mêmes calculs, que l'on rationalise ou non certaines grandeurs intermédiaires. Et la suppression du facteur 4π dans des formules où il ne représente qu'une valeur particulière d'un angle solide n'est pas sans inconvénients, au point de vue didactique....

Il est vrai que si l'on rationalisait aussi l'unité d'angle solide, cette dernière remarque perdrait de sa valeur, comme le signale M. Grivet, partisan de la rationalisation [11]. Il n'est peut-être pas inutile de développer cette idée. Reprenons le cas des unités lumineuses ; l'éclairement $E = \frac{\Phi}{S}$ se mesure en $\text{lu} : \text{m}^2$, mais la formule $E = \frac{J}{x^2}$ conduirait à l'évaluer en $\frac{\text{b}}{\text{m}^2}$, alors qu'il serait correct de dire $\frac{\text{b. st}}{\text{m}^2}$.

Explicitons de même l'unité d'angle solide, dans nos définitions et formules électriques et magnétiques : nous verrons que, dans beaucoup de cas, la rationalisation résulte du remplacement du stéradian par l'angle solide correspondant à tout l'espace, qui n'a pas de nom, et que j'appellerai, faute de mieux « sphère ». Ainsi, le déplacement électrique s'exprime, soit en C. st : m^2 (valeur D), soit en C. « sph » : m^2 (valeur D') ; la force magnétomotrice soit en A. st (valeur $\mathcal{F}$), soit en A. « sph » (valeur $\mathcal{F}'$), etc. Et puisque la rationalisation affecte alors l'unité, elle ne modifie plus la grandeur !

Faut-il souhaiter que se généralise l'emploi de ces unités explicites, mais compliquées ? Non sans doute. Il ne léverait d'ailleurs pas toutes les difficultés : pourrait-on dire que la susceptibilité magnétique s'exprime en inverses de stéradian (valeur χ ci-dessus) ou en inverses de « sphère » ($\chi' = 4\pi\chi$) ? Et ferait-on intervenir l'angle solide dans la formule de Coulomb ?

9. La C. E. I., où les opinions pour et contre se sont manifestées avec énergie, a renoncé jusqu'ici à recommander, soit les formules dites rationalisées, soit celles qu'on peut appeler « classiques ». Mais l'emploi simultané des unes et des autres apparaît bien fâcheux : sur ce point encore, il est indispensable de s'entendre.

Quand, dans les divers groupements internationaux, scientifiques et techniques, l'opinion d'une majorité de spécialistes *qualifiés*, physiciens, mécaniciens, électriciens, se sera clairement manifestée, on pourra demander au Comité international des Poids et Mesures de l'appuyer de son autorité, et

(7) Toutefois, Bruhat distingue dans son *Cours d'Électricité*, l'« induction électrostatique », qu'il représente par B , et le « déplacement électrique » $D = \frac{B}{4\pi}$, dont l'introduction lui permet une rationalisation partielle.

aux opposants de sacrifier leurs préférences personnelles : un accord international ne s'obtient pas sans concessions....

Un tel accord risque sans doute de se faire attendre,

en ce qui concerne les questions de rationalisation; on peut tout au moins espérer l'obtenir bientôt sur le « système pratique international » dont nous avons rappelé les caractères essentiels.

Manuscrit reçu le 17 février 1948.

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] H. ABRAHAM, Ce que pourraient être les définitions des grandeurs magnétiques, *Bull. Soc. Franç. Élect.*, 1935, **5**, p. 1233 à 1246.
- [2] ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION, *Commission générale des unités et symboles*. Les symboles d'unités employés en mécanique, *Document X 02-18*, octobre 1946. Rapport sur les réponses reçues à la suite de l'enquête publique sur les unités mécaniques, *Document X 02-35*, septembre 1947.
- [3] ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS ET COMITÉ ÉLECTROTECHNIQUE SUISSE, Règles pour les symboles littéraux et signes, *Bull. Assoc. suisse Élect.*, 1947, **38**, p. 519 à 542.
- [4] L. BOUTHILLIER, Sur quelques aspects de la rationalisation des équations de l'électricité, *Bull. Soc. Franç. Élect.*, 1936, **6**, p. 1175 à 1195.
- [5] C. BUDEANU, Sur la rationalisation des unités et des formules électromagnétiques, *Bull. Soc. Franç. Élect.*, 1947, **7**, p. 563 à 572.
- [6] COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES, *Procès-verbaux*, Session de 1935, XVII, p. 70, 95 à 100, 176 à 190, 204 à 208; *Mémoires et notes annexes* de MM. Lombardi, Glazebrook, Kennelly, Giorgi, Campbell, Emde, Bennett, Wallot, Sommerfeld, p. 301 à 360.
- [7] COMMISSION DE NORMALISATION AUX PAYS-BAS, *Système d'unités pratiques géométriques et mécaniques*, Normes V-1221 à V-1224, février 1947.
- [8] G. DARRIEUS, Note sur les relations entre les unités électriques et leur rationalisation, *Bull. Soc. Franç. Élect.*, 1936, **6**, p. 959 à 971.
- [9] G. GIORGI, *Unità Razionali di Elettromagnetism.*, *Atti del A. E. I.*, 1901; *Proposals concerning electrical and physical units*, *Proc. Int. El. Cong. Saint-Louis*, 1904, **1**, p. 136 à 141; La métrologie électrique classique et les systèmes d'unités qui en dérivent. Examen critique, *Revue gén. Élect.*, 1936, **40**, p. 459 à 463. Voir aussi [6].
- [10] Sir Richard GLAZEBROOK, A note on the activities of the Committee for Symbols, Units and Nomenclature of the International Union of pure and applied Physics *Bull. Res. Council*, Chicago 1933, n° **93**, p. 4-7. Voir aussi [6].
- [11] P. GRIVET, Le système d'unités Giorgi dans ses rapports avec la tradition, la pratique et l'enseignement, *Bull. Soc. Franç. Élect.*, 1947, **7**, p. 594 à 628 (16 références bibliographiques).
- [12] E. A. GUGGENHEIM, Names of electrical units, *Nature*, 1941, **148**, p. 751.
- [12 bis] E. A. GUGGENHEIM, Units and Dimensions, *Phil. Mag.*, 1942, **33**, p. 479 à 496.
- [13] A. E. KENNELLY, Adoption par la C. E. I. du système Giorgi d'unités M. K. S. (traduit et commenté par E. Brylinski). Nombreuses références bibliographiques, *Bull. Soc. Franç. Élect.*, 1936, **6**, p. 47 à 80. Voir aussi [6].
- [14] P. LANGEVIN, Sur la nature des grandeurs et le choix d'un système d'unités électriques, *Bull. Soc. Franç. Phys.*, 1922, **3**, p. 9 à 16, 25-26, 30 à 40.
- [15] A. LIÉNARD, Quelques remarques concernant les feuillets magnétiques, *Rev. gén. Élect.*, 1922, **11**, p. 382 à 384; Quelques remarques concernant les aimants de volume fini et les courants non linéaires, *Rev. gén. Élect.*, 1922, **11**, p. 424 à 426.
- [16] E. PERUCCA, Vettori e momento magnetici. Proposta di una modificazione dimensionale al sistema M. K. S. *Atti dell' Ac. Sc. Torino*, 1944, **79**, p. 74 à 103.
- [17] W. J. D. VAN DIJCK, On the advantages of consistently using one coherent system of units in thinking, calculating and measuring, and on the merits of the practical metric system of units (M. K. S. °C) (Delft, *Technical University*, 1946).
- [18] J. WALLOT, Zur definition der Größen der elektromagnetischen Feldes und zur Theories der Maszsysteme *Phys. Zeit.*, 1943, **44**, p. 17 à 31.