

26^e Bulletin
(7^e Année — Décembre 1966)
TRIMESTRIEL

BULLETIN

DE

*Meilleurs vœux
pour 1967*

L'ORGANISATION

INTERNATIONALE

DE MÉTROLOGIE LÉGALE



BUREAU INTERNATIONAL DE MÉTROLOGIE LÉGALE
11, Rue Turgot — PARIS IX — France

BULLETIN

DE

L'ORGANISATION INTERNATIONALE DE MÉTROLOGIE LÉGALE

BULLETIN

de

L'ORGANISATION INTERNATIONALE de MÉTROLOGIE LÉGALE

26• Bulletin trimestriel
7• Année — Décembre 1966
Abonnement annuel : 40 Francs Français
Compte Chèques postaux : Paris-8 046-24

SOMMAIRE

| | Pages |
|---|-------|
| Les unités électriques du Système International d'Unités de mesures et leur application pratique dans l'enseignement (à suivre) par A. THULIN..... | 7 |
| A propos de la calibration des grands réservoirs de pétrole par W. LOTMAR — Suisse | 17 |
| Normalgeräte besonderer Bauart par W. von OHNESORGE — Rép. Féd. d'Allemagne | 23 |
| INFORMATIONS | |
| Compte rendu sommaire du Comité international de Métrologie légale, septembre 1966 | 40 |
| Célébration du Centenaire de l'introduction du Système Métrique en Roumanie | 43 |
| BIBLIOGRAPHIE | |
| Compte rendu par E.W. ALLWRIGHT — B.I.M.L. Les balances et les poids — Une esquisse historique par le Dr B. KISCH | 45 |
| Compte rendu par M. JACOB — Belgique Les contacts internationaux du Service des Poids et Mesures | 46 |
| DOCUMENTATION | |
| Études métrologiques entreprises | 49 |
| États-membres de l'Organisation Internationale de Métrologie Légale | 58 |
| Membres actuels du Comité International de Métrologie Légale | 59 |

BUREAU INTERNATIONAL DE MÉTROLOGIE LÉGALE
11, Rue Turgot — Paris IX* — France
Tél. 878-12-82 et 878-98-20 Le Directeur : M. V. D. Costamagna

Les UNITÉS ÉLECTRIQUES du SYSTÈME INTERNATIONAL d'UNITÉS de MESURES et leur APPLICATION PRATIQUE dans L'ENSEIGNEMENT

par **Åke THULIN**

Chief Technical Adviser

National Physical Laboratory for Metrology

Le Caire, R.A.U.

On peut dire que ce sont les besoins de l'électrotechnique qui ont créé le Système International d'Unités (SI). Certaines unités mécaniques de ce système, comme le newton, sont en fait des sous-produits du système d'unités proposé par Giorgi en 1901 dont le SI a hérité l'essentiel et dont le but était de résoudre des problèmes posés à la fois par le choix des valeurs des unités pratiques électriques et par l'écriture rationnelle des équations utilisées en électrotechnique.

Bien que les techniciens de la mécanique et de la thermodynamique n'aient pratiquement pas participé aux discussions lors de son adoption, il est encourageant de constater l'accueil favorable fait au SI dans ces domaines. Pour obtenir un ralliement complet, il ne reste pratiquement qu'à adopter un multiple ou une forme pratique pour exprimer l'unité de pression qui n'est pas de taille convenable pour l'usage courant (tables, graduations etc...).

En ce qui concerne les unités électriques et magnétiques, on pourrait croire à priori que les physiciens et les ingénieurs qui ont discuté ce problème depuis fort longtemps se sont enfin mis d'accord. Pour ne pas freiner son introduction on avait, lors de la création du SI, jugé nécessaire de spécifier que dans la physique théorique on peut continuer à utiliser les différentes formes des systèmes CGS. Dans l'électrotechnique d'aujourd'hui il n'est cependant pas concevable qu'un physicien et un ingénieur s'expriment dans des systèmes différents d'unités. L'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée (UIPPA, en anglais IUPAP) avait bien compris cela en créant en 1932 la Commission « Symboles, Unités et Nomenclature » (SUN) et en entamant une collaboration avec la Commission Électrotechnique Internationale (CEI, en anglais IEC) qui étudiait déjà l'adoption d'un système basé sur le mètre, le kilogramme et la seconde.

Un accord de principe entre ces Comités sur le Système MKSA était atteint avant la guerre et on était autorisé à croire que l'abandon en 1948 des unités électriques dites « internationales » basées sur la colonne de mercure et le voltamètre à argent devait précipiter l'introduction pratique de ce système. D'autres obstacles et malentendus ont au contraire vu le jour depuis et on a parfois presque l'impression que la Commission SUN, qui est surtout composée de théoriciens, s'est constituée en comité de défense pour les systèmes CGS. Pour améliorer quelques-uns des défauts de ces derniers, on a été jusqu'à créer trois nouveaux systèmes du type CGS, mais ayant quatre unités de base. Ces nouveaux systèmes, dont le but à l'origine était purement didactique, ont cependant récemment reçu leur consécration en figurant parallèlement avec le SI dans une récente recommandation de l'ISO : « Grandeurs et unités d'électricité et magnétisme ». (1)

La diplomatie utilisée dans ce document peut sans doute dérouter ceux des techniciens qui n'ont pas suivi les développements de près. L'auteur se propose simplement dans ce qui suit de résumer la situation actuelle et de tirer quelques conclusions qu'il estime nécessaires pour la bonne diffusion du Système International d'Unités, en particulier dans l'enseignement technique. Le lecteur qui désire étudier à fond les problèmes d'unités électriques peut utilement consulter le livre de Stille (2) et un article de Silsbee (3) qui contiennent tous les deux une importante bibliographie.

Les positions actuelles

Tous les électrotechniciens ainsi que les physiciens sont d'accord pour abandonner le système incohérent jusqu'ici en usage pratique et composé pour une partie d'unités dites « pratiques » telles que le volt, l'ampère, l'ohm et pour une partie d'unités CGS telles que le maxwell, le gauss, etc...

Un grand nombre de physiciens préfèrent cependant, par habitude, continuer à utiliser les différentes formes des systèmes CGS alors que les électrotechniciens, en majeure partie, préfèrent adopter le SI.

Pour un grand nombre d'unités on ne peut pas utiliser sans risque d'erreur des facteurs de conversion du type CGS/SI ou vice-versa. Cela tient au fait que, d'une part, les unités n'ont pas souvent la même dimension et que, d'autre part, ce qui est plus grave encore, l'écriture des équations n'est pas toujours la même.

On peut considérer comme fort regrettable que les textes légaux réglementant l'application du SI ne comportent pas, pour dissiper toute équivoque, quelques précisions sur l'utilisation correcte dans les équations de certaines unités dérivées. Lors de la rédaction du texte concernant le SI qui fut adopté par la Conférence Générale des Poids et Mesures en 1960, on a sans doute craint que de telles précisions puissent soulever des discussions et on a même préféré omettre la mention que ces unités doivent exclusivement être utilisées dans des équations rationalisées.

(1) ISO : Grandeurs et Unités d'Électricité et Magnétisme. ISO/R 31/V — 1965

(2) Stille, U. Messen und Rechnen in der Physik, Fr. Vieweg & Sohn, Braunschweig

(3) Silsbee, Francis B. : Systems of Electrical Units. Journal of Research NBS, Vol. 66C, N° 2, April-June 1962 (réimprimé sous forme de NBS Monograph N° 56).

Avant de parler de la rationalisation qui, aujourd'hui, constitue sans doute l'obstacle majeur dans l'enseignement entre les adeptes des systèmes CGS et ceux du SI, il est utile de s'arrêter quelque peu sur le problème du nombre et du choix des unités de base qui, dans le passé, fut aussi très débattu.

Nous laissons volontairement de côté le problème de la taille des unités étant donné qu'il s'agit là d'un problème pratiquement impossible à résoudre d'une façon parfaite pour l'ensemble des unités dérivées utilisées en physique mais qui, en général, parle en faveur du SI, ce que les fondateurs des systèmes CGS avaient déjà indirectement reconnu en créant le volt, l'ampère et l'ohm, alors définis comme multiples des unités CGS.

Nombre et choix des unités de base

Il est utile de préciser que, du point de vue théorique, aucun des systèmes d'unités existants ne nous permet de mieux comprendre l'origine des différentes manifestations de l'électricité ou du magnétisme, pas plus d'ailleurs que celles de la gravitation. A partir des lois empiriques établies par Coulomb, Ampère et d'autres savants nous construisons des équations de grandeurs qui nous servent à définir les différentes unités électriques et magnétiques. Grâce à Maxwell et à la mathématique vectorielle, il est aujourd'hui possible de mieux comprendre la relation entre les unités électrostatiques et électromagnétiques. Cela, joint aux déterminations de plus en plus précises de la vitesse de la lumière, nous permet de réduire le nombre des systèmes d'unités à un au lieu de deux comme cela fut le cas à l'origine des systèmes CGS.

Précisons aussi qu'une unité de base n'est pas forcément une unité pour laquelle on peut établir un étalon indépendant des autres unités bien que cela soit souhaitable. Nous pouvons construire des systèmes d'unités en utilisant des unités de base « symboliques » dont l'étalon dépend d'autres unités aussi bien que de certaines conventions. Dans le SI, l'ampère de même que la candela sont effectivement des unités de base « symboliques ». Le fait que l'on trouve difficilement une grandeur électrique pour laquelle on puisse établir un étalon indépendant a largement contribué à retarder l'adoption d'une unité électrique comme unité de base.

L'utilisation de conventions et d'unités de base « symboliques » nous permet de construire un grand nombre de systèmes d'unités. On peut même imaginer des systèmes basés exclusivement sur des conventions concernant les valeurs adoptées pour les constantes universelles. Dans le choix d'unités de base et de leur nombre, on doit cependant s'efforcer de réunir des définitions pratiquement utilisables et suffisamment précises pour la science moderne, mais aussi tenir compte de la répercussion de ce choix sur l'interprétation physique de toutes les grandeurs qui seront mesurées en unités dérivées.

En ce qui concerne l'interprétation physique, il est certain qu'un système basé exclusivement sur trois unités mécaniques, tel que les systèmes CGS, MKS ou MTS, n'est pas fait pour faciliter l'enseignement de l'électricité et du magnétisme. L'emploi de l'analyse dimensionnelle était très peu répandu au début des systèmes CGS mais il a pris de l'ampleur depuis et est aujourd'hui courant dans l'enseignement. Bien qu'il soit dangereux de chercher à donner une interprétation trop philosophique à ce moyen de vérifier des équations, il n'en subsiste pas moins qu'un étudiant, utilisant un système à trois unités de base, trouve étrange d'exprimer la capacité ou l'inductance en cm, la résistance en cm/s, etc...

Maxwell, dans son « Treatise on Electricity and Magnetism » est le premier à souligner que l'électricité comporte des grandeurs qui lui sont propres.

Selon la proposition de Giorgi, on doit ajouter aux unités mécaniques au moins une unité électrique. Cela permet en effet de séparer les unités dérivées de l'électricité et du magnétisme par rapport aux unités purement mécaniques, puisque le produit dimensionnel comporte alors toujours la grandeur électrique de base, sauf pour la puissance et l'énergie électrique où l'on peut véritablement parler d'équivalence mécanique. La quatrième unité de base à choisir a longtemps été sujet à discussion. Giorgi avait proposé d'utiliser l'ohm pour la raison que cette unité peut se concrétiser sous forme d'un étalon matériel. L'unité de charge électrique, le coulomb, constitue une autre alternative qui n'a malheureusement pas été retenue malgré l'avantage que cette unité présente sur le plan pédagogique. La dérivation des autres unités électriques et magnétiques a en effet un début tout naturel si l'on choisit l'unité de charge, alors que l'ohm présente de sérieux inconvénients de ce point de vue. Le coulomb n'avait cependant pas d'étalon indépendant si l'on exclut l'éventualité hypothétique d'utiliser la charge de l'électron dans ce but.

Le choix de l'ampère, qui est peu éloigné du coulomb, n'est pas mauvais en soi si l'on prend la précaution de souligner qu'il s'agit bien d'une unité de base symbolique, ce que la définition officielle ne laisse pas apparaître :

« L'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait une force égale à $2 \cdot 10^{-7}$ newton par mètre de longueur » (4).

Ce texte est, dans son contenu, antérieur au SI et avait alors pour but de couvrir également l'utilisation de l'ampère en tant qu'unité dérivée dans des systèmes à trois unités de base du type MKS. Il est sous-entendu que le texte vise la force électrodynamique et non la force électrostatique qui peut apparaître en même temps.

Lorsqu'on introduit une quatrième unité électrique dans un système à trois unités de base tel que le MKS, on est obligé d'utiliser une constante d'adaptation à laquelle on doit attribuer une dimension. C'est en fait cette même constante qui nous permet de faire la séparation dimensionnelle par rapport aux grandeurs mécaniques. Puisqu'on n'a pas trouvé d'étalon indépendant pour l'unité électrique de base, il aurait été tout naturel et plus direct de ne pas spécifier de définition du type étalon pour celle-ci, mais de choisir un texte définissant par convention la valeur et la dimension de cette constante de proportionnalité entre les unités électriques et mécaniques. Autrement dit, on aurait pu laisser l'ampère comme unité de base symbolique pour les besoins de l'analyse dimensionnelle et mentionner que sa valeur découle de l'emploi dans les équations rationalisées d'un facteur de proportionnalité $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$.

Cette constante μ_0 a cependant un autre nom : perméabilité du vide, ce qui paraît au premier abord un peu abstrait, car on peut se demander comment on peut accorder des propriétés à quelque chose qui n'existe pas. En pratique, la constante μ_0 , tout comme son équivalent électrostatique ϵ_0 , intervient dans toutes les équations utilisant quatre grandeurs de base à la même place que la perméabilité relative et la permittivité relative. Les grandeurs perméabilité et permittivité sont en fait des constantes de propagation qui prennent l'aspect d'une conductivité pour le flux magnétique et le flux électrique res-

(4) Proc. Verb. CIPM, 20, 1945-46, p. 132 et C.R. 9^e Conf. Gén. Poids et Mesures, 1948, p. 49

pectivement. Le mysticisme entourant le terme « perméabilité du vide » est sans doute une des raisons pour laquelle on a préféré une définition de l'ampère au lieu d'une convention sur la valeur et la dimension de μ_0 .

Dans l'enseignement, nous pouvons déduire la définition de l'ampère de la façon suivante :

La force F exercée par un champ magnétique perpendiculaire sur un conducteur parcouru par un courant I_1 est selon l'expérience :

$$F = B \cdot I_1 \cdot \Delta l$$

où Δl représente la longueur du tronçon du conducteur prise en considération.

Comme B est une grandeur magnétique que nous sommes libres de définir tant du point de vue valeur que dimensionnel, nous n'avons pas besoin d'introduire encore un facteur de proportionnalité dans cette équation. L'expérience montre aussi que la force exercée est d'autant plus grande que la concentration des lignes de flux magnétique sur le conducteur est plus grande, autrement dit la grandeur B représente un flux surfacique. Dans le cas d'une bobine, une variation de B produit une tension induite dans celle-ci. On a donc officiellement baptisé B « induction ». Du point de vue directionnel, B est un vecteur qui est toujours dirigé dans le sens du flux. B est ainsi une grandeur expérimentale qui détermine aussi bien l'intensité que la direction d'un champ magnétique.

En vue de définir B , on introduit habituellement d'abord une autre grandeur H que l'on peut aujourd'hui considérer non comme une grandeur expérimentale mais plutôt comme une grandeur auxiliaire permettant un traitement mathématique plus aisé du magnétisme dans le cadre des équations de Maxwell par sa ressemblance dimensionnelle au champ électrique E . La grandeur H n'a, en français, regrettamment pas d'autre nom que « champ magnétique ». Par similitude au champ électrique, H est considéré comme un gradient de potentiel magnétique défini par la relation

$$H = \frac{dU_m}{ds}$$

où ds représente un élément de longueur d'une ligne de flux reliant deux points dont la différence de potentiel magnétique est dU_m .

Pour trouver la relation entre B et H , on peut imaginer une loi d'écoulement du flux magnétique ou, si nous nous tenons au domaine électrique, une loi d'Ohm magnétique, en mettant :

$$\text{différence de potentiel magnétique} = [\text{réductance}] \times [\text{flux magnétique}]$$

où réductance est le terme employé pour la « résistance » magnétique.

Si l'on introduit un coefficient μ ayant le caractère d'un coefficient de conductivité pour le flux magnétique (inverse de la résistivité), on obtient alors pour une section dA traversée par un flux $d\Phi$:

$$H ds = \frac{ds}{\mu dA} \cdot d\Phi$$

$$\text{où } d\Phi = B dA$$

et par conséquent

$$H = \frac{B}{\mu}$$

En utilisant cette déduction, il devient tout naturel d'attribuer des dimensions à μ par analogie avec la conductivité pour le courant électrique. Dans les systèmes CGS à trois unités de base, μ est un nombre pur et, de plus, égal à 1 pour le vide, ce qui crée des confusions fréquentes entre les deux grandeurs B et H . B a dans ces systèmes par conséquent la même dimension que H .

On définit la grandeur H par la loi généralisée d'Ampère. Or, il existe plusieurs versions de cette loi selon qu'on utilise une écriture rationalisée ou non. Nous introduisons les symboles H_s et μ pour les grandeurs rationalisées et H'_s et μ' pour les grandeurs non rationalisées.

Dans le cas de la définition de l'unité ampère, nous obtenons les champs H_s et H'_s à l'aide d'un courant I_2 qui parcourt un autre conducteur parallèle au premier et placé à la distance r de celui-ci.

Nous avons (voir fig. 1) :

en écriture rationalisée

$$\oint H_s ds = I_2$$

en écriture non rationalisée

$$\oint H'_s ds = 4\pi I_2$$

L'intégration circulaire nous donne dans les deux cas

$$H_s = \frac{I_2}{2\pi r}$$

$$H'_s = \frac{2 I_2}{r}$$

$$F = \frac{\mu I_1 I_2 \Delta l}{2\pi r}$$

$$F = \frac{2 \mu' I_1 I_2 \Delta l}{r}$$

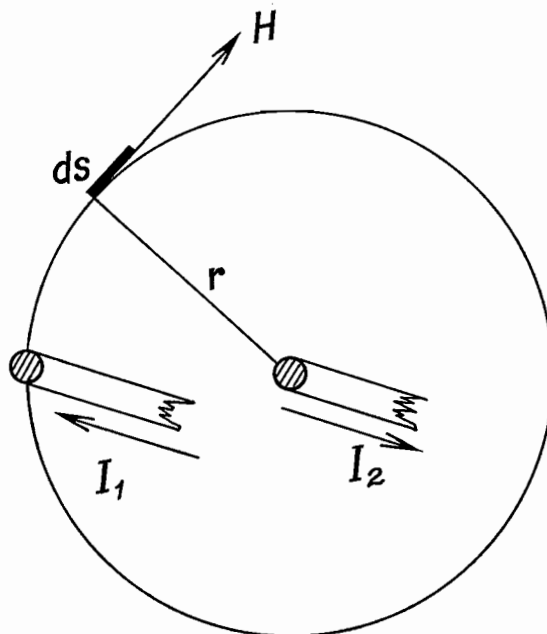


FIG. 1

Les grandeurs représentées par μ et μ' sont appelées respectivement « perméabilité » et « perméabilité non rationalisée ». Pour le vide, on désigne ces grandeurs par μ_0 et μ'_0 . Dans le cas des substances, on désigne leurs propriétés par le facteur de perméabilité relatif μ_r , nombre pur défini par le rapport :

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} = \frac{\mu'}{\mu'_0} \quad (*)$$

Si l'on introduit maintenant dans les deux équations pour la force les valeurs données par la définition de l'ampère, c'est-à-dire :

$$F = 2 \cdot 10^{-7} \text{ N}, \quad \mu_r = 1 \text{ (vide)}, \quad I_1 = I_2 = 1 \text{ A et } \Delta l = r = 1 \text{ m},$$

on voit qu'il faut attribuer à la constante μ_0 qui découle des équations rationalisées la valeur $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$ et à la constante des équations non rationalisées la valeur $\mu'_0 = 10^{-7} \text{ N/A}^2$. Si l'on avait décidé d'utiliser un système à trois unités de base du type MKS, il aurait également fallu introduire des coefficients d'adaptation de même valeur que μ_0 et μ'_0 , mais ces coefficients auraient été sans dimensions. Dans les systèmes CGS à trois unités de base μ'_0 est par définition égal à 1 et sans dimensions. Les systèmes CGS n'ont jusqu'ici pratiquement été utilisés qu'avec des équations non rationalisées.

Nous voyons par ces explications élémentaires comment la définition officielle de l'ampère est en quelque sorte diplomatique, mais insuffisante pour les besoins pédagogiques. En particulier, ce texte ne permet pas de définir sans risque de dualité certaines unités dérivées telles que le champ magnétique H . Nous reviendrons sur ce point plus loin au sujet de la rationalisation.

Une fois admis le principe d'utilisation d'au moins quatre unités de base, il aurait été logique de choisir l'unité μ comme quatrième unité de base. Il est intéressant de noter qu'un tel système fut introduit en U.R.S.S. en 1948 sous une forme rationalisée. L'ennui était qu'il fallait en même temps donner un nom particulier à cette unité : le « magn ». Du point de vue dimensionnel, le magn correspondait à N/A^2 (ou H/m) et sa valeur était définie par

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ magn}$$

Le système dimensionnel de base devient $\text{LMT}\mu$, ce qui donne pour un grand nombre de grandeurs des produits dimensionnels comprenant des multiples de racines carrées et par conséquent peu pratiques à employer. Le magn fut en U.R.S.S. remplacé par l'ampère comme quatrième unité de base en 1954.

Pour éviter d'employer le terme quelque peu abstrait de « perméabilité du vide », on a proposé « constante (de champ) magnétique » (2) (3). Il est cependant prudent de ne pas introduire ce terme pour la raison que l'on peut imaginer une autre constante de proportionnalité entre les grandeurs électriques et magnétiques qui mérite aussi cette épithète. La raison d'être d'une telle constante peut, par exemple, se justifier par le fait qu'il est gênant dans l'enseignement de se voir obligé d'identifier la force magnéto-motrice (symbole ISO : F_m) avec un courant électrique du point de vue dimensionnel. Selon la loi généralisée d'Ampère, nous définissons en effet habituellement

$$\oint H_s \, ds = \Sigma I$$

et

$$F_m = \Sigma I = NI$$

où N est le nombre de spires dans le cas fréquent, où F_m est produite par une bobine.

Nous sommes libres de changer ces définitions en mettant

$$\oint H^o \, ds = \frac{1}{\gamma} \Sigma I$$

et

$$F_m^o = \frac{1}{\gamma} \Sigma I = \frac{NI}{\gamma}$$

(+) Ces symboles suivent les recommandations de l'ISO.

TABLEAU I

Comparaison entre l'écriture des équations de grandeurs
en utilisant différents systèmes d'unités (*)

| SI (rationalisé) | a) CGS électrostatique (non rationalisé) | b) CGS électromagnétique (non rationalisé) | c) CGS symétrique (non rationalisé) |
|--|--|--|--|
| Force exercée sur un élément de conducteur dl , perpendiculaire à un champ magnétique d'induction B , et parcouru d'un courant I : | | | |
| $F = B \cdot I \cdot dl$ | $F = B_a \cdot I_a \cdot dl$ | $F = B_b \cdot I_b \cdot dl$ | $F = \frac{B_b \cdot I_a \cdot dl}{c_0}$ |
| Force exercée sur une charge Q placée dans un champ électrique E : | | | |
| $F = Q \cdot E$ | $F = Q_a \cdot E_a$ | $F = Q_b \cdot E_b$ | $F = Q_a \cdot E_b$ |
| Champ électrique à la distance r d'une charge ponctuelle Q : | | | |
| $E = \frac{Q}{4 \pi \epsilon_0 \epsilon_r r^2}$ | $E_a = \frac{Q_a}{\epsilon_r r^2}$ | $E_b = \frac{c_0^2 Q_b}{\epsilon_r r^2}$ | $E_a = \frac{Q_a}{\epsilon_r r^2}$ |
| Champ électrique entre deux plaques parallèles de superficie A et chargées par une quantité d'électricité Q : | | | |
| $E = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_r A}$ | $E_a = \frac{4 \pi Q_a}{\epsilon_r A}$ | $E_b = \frac{4 \pi c_0^2 Q_b}{\epsilon_r A}$ | $E_a = \frac{4 \pi Q_a}{\epsilon_r A}$ |
| Contribution dH au champ magnétique en un point situé à la distance r d'un élément de conducteur dl parcouru d'un courant I et formant un angle α avec le rayon séparant ce point et l'élément (règle d'intégration de Biot-Savart) : | | | |
| $dH = \frac{I \, dl \, \sin \alpha}{4 \pi r^2}$ | $dH'_a = \frac{I_a \, dl \, \sin \alpha}{r^2}$ | $dH'_b = \frac{I_b \, dl \, \sin \alpha}{r^2}$ | $dH'_b = \frac{I_a \, dl \, \sin \alpha}{c_0 r^2}$ |
| Champ magnétique à l'intérieur d'un long solénoïde de longueur l ou d'un tore de circonférence l : | | | |
| $H = \frac{NI}{l}$ | $H'_a = \frac{4 \pi I_a}{l}$ | $H'_b = \frac{4 \pi I_b}{l}$ | $H'_b = \frac{4 \pi NI_a}{c_0 \cdot l}$ |
| Variation de l'énergie w par unité de volume en fonction des grandeurs H et B du champ magnétique et E et D du champ électrique : | | | |
| $dw = HdB + EdD$ | $dw = \frac{H'_a dB_a}{4 \pi c_0^2} + \frac{E_a dD'_a}{4 \pi}$ | $dw = \frac{H'_b dB_b}{4 \pi} + \frac{E_b dD'_b}{4 \pi c_0^2}$ | $dw = \frac{H'_b dB_b}{4 \pi} + \frac{E_a dD'_a}{4 \pi}$ |

(x) Nous avons adopté deux indexations différentes (a et b) des grandeurs CGS en vue de souligner le fait que ces grandeurs ont des dimensions différentes.
 c_0 = vitesse de la lumière dans le vide.

En attribuant des dimensions à la constante γ on peut par conséquent éviter l'identité des dimensions entre la force magnéto-motrice et le courant électrique. Stille a baptisé la constante γ « elektromagnetische Verkettung » c'est-à-dire « constante d'enchaînement électromagnétique ». On voit aisément que les grandeurs H_s^o et F_m^o appartiennent alors à un système d'équations ayant cinq grandeurs de base au lieu de quatre.

On peut imaginer plusieurs systèmes d'unités correspondants ou simplement intercaler dans le SI une unité magnétique de base (celle du flux magnétique par exemple). Nous ne nous étendrons pas plus sur les conséquences de ces systèmes dits « à cinq unités de base » (le degré Kelvin et la candela n'étant pas inclus) qui n'ont pas encore été ni approuvés ni réfutés officiellement.

L'adoption d'une unité électrique comme quatrième unité de base est en tous cas aujourd'hui admise, même par les plus fervents défenseurs des systèmes CGS et il peut être intéressant de s'arrêter quelque peu sur ce point étant donné qu'il s'agit d'une nouveauté que beaucoup de techniciens ignorent probablement.

Les 12 systèmes CGS

Nous connaissons les systèmes :

- a) CGS électrostatique (permittivité du vide = 1)
- b) CGS électromagnétique (perméabilité du vide = 1)
- c) CGS symétrique (ou système de Gauss).

Les électrotechniciens ont surtout utilisé le système électromagnétique, alors que dans la physique atomique on a tendance à utiliser le système symétrique qui se compose d'un choix d'unités électrostatiques (a) pour les grandeurs électriques et d'unités électromagnétiques (b) pour les grandeurs magnétiques.

Il est utile de rappeler que les unités dérivées du système (a) diffèrent des unités correspondantes du système (b) aussi bien en dimension qu'en valeur. Les équations de grandeurs dans les trois systèmes diffèrent également étant donné que la vitesse de la lumière dans le vide intervient à des emplacements différents. Le système symétrique tire son nom de l'équation pour l'énergie volumique (voir tableau I) qui, ici, devient symétrique. Ce système possède l'originalité peu didactique de présenter les mêmes dimensions pour un grand nombre de grandeurs (B , H , D , E , etc...).

Selon le document ISO déjà cité :

« Il est également possible pour ces systèmes d'équations, fondés sur trois grandeurs de base, d'avoir deux versions, une version rationalisée et une autre non rationalisée. Cependant, seule la version non rationalisée a été couramment utilisée ». Si l'on admet la possibilité d'utiliser des équations rationalisées avec ces systèmes, nous nous trouvons par conséquent avec six systèmes d'équations différents utilisant des unités dérivées des systèmes a), b) et c). Cela n'est cependant pas tout.

Dans un but didactique et afin de « faciliter » la conversion entre les systèmes CGS et le MKSA, J. de Boer (5) a proposé en 1950 d'étendre les systèmes CGS à quatre unités de base en ajoutant deux autres unités de base

- le franklin pour l'unité de charge électrostatique,
- le biot pour l'unité électromagnétique de courant.

Alors qu'il n'est pas possible, du point de vue dimensionnel, de relier les unités du système a) et b) puisque le rapport de deux unités pour une même grandeur électrique ou magnétique représente toujours une puissance d'une vitesse, cela devient possible

(5) de Boer, J. : Ned. T. Natuurkde, 16, 1950, p. 293 et 17, 1951, p.5

dans les systèmes proposés par de Boer, ce rapport devenant un nombre pur. Nous pouvons ainsi, par exemple pour le courant, écrire l'identité :

$$1 \text{ biot} = 2,997\,925 \cdot 10^{10} \text{ franklins/seconde.}$$

Nous retrouvons ces deux systèmes dans le document ISO :

- A) CGS-Fr électrostatique,
- B) CGS Bi électromagnétique.

En ce qui concerne les tableaux donnant les définitions et les équivalences des unités, nous lisons : « En général, les tableaux comprennent les unités du système A pour les grandeurs relatives à l'électrostatique et celles du système B pour les grandeurs relatives au magnétisme. Ce choix correspond au système CGS symétrique (ou système de Gauss) qui doit être employé avec le système « symétrique d'équations ». Nous avons, autrement dit, affaire à un troisième système du point de vue équations :

- C) « néo »-CGS symétrique (*)

Nous citons encore le commentaire des tableaux de la Recommandation ISO : « Pour les grandeurs non rationalisées, les unités des systèmes A et B sont données. Il ne s'ensuit pas que ces dernières unités ne peuvent pas être utilisées pour les grandeurs rationalisées ». En négligeant d'autres systèmes d'unités type CGS proposés dans le passé, nous nous trouvons néanmoins avec 12 systèmes d'unités autorisés fondés sur le centimètre, le gramme et la seconde.

L'avantage des nouveaux systèmes « néo »-CGS, comme on les a parfois appelés, est donné par l'ISO comme suit : « Les relations entre les unités des systèmes A et B et celles du MKSA peuvent être exprimées sous la forme d'équations ayant comme facteurs de conversion des nombres purs ». En pratique on n'utilise cependant pas encore les systèmes « néo »-CGS ; en fait ils conduisent à introduire de nouvelles unités qui n'ont toutes la même valeur que les unités CGS correspondantes que dans la version non rationalisée. La conversion que le technicien a le plus couramment besoin d'effectuer n'est pas, si nous prenons par exemple la grandeur de l'induction, entre dyn/(Bi . cm) et tesla mais entre gauss et tesla. Cette dernière conversion est, dans le document ISO, exprimée sous cette forme : « Le nom gauss est aussi utilisé pour l'unité 10^{-4} tesla », ce qui peut faire croire qu'il existe une autre unité gauss que celle du système CGS à trois unités de base.

La conversion en unités SI de la valeur d'un résultat exprimé en unités CGS peut heureusement s'effectuer à l'aide de facteurs numériques sans considération de dimensions. Nous trouvons ces facteurs dans beaucoup d'ouvrages, celui de Stille est peut-être l'un des plus complets.

Malgré les possibilités offertes par le document ISO, il faut considérer les unités des systèmes « néo »-CGS comme faisant partie du domaine non rationalisé.

Les équations de ces systèmes diffèrent de ce fait de celles du SI mais elles diffèrent également de celles des systèmes CGS classiques car la vitesse de la lumière n'y apparaît plus comme facteur explicite.

(*) Il y a ici une complication : l'unité de courant du système symétrique est, par analogie avec le CGS symétrique, une unité électrostatique et non électromagnétique. Le document ISO en a tenu compte et donne comme unité principale de courant le Fr/s et, en deuxième lieu seulement, le biot « en vue de donner sa définition ».

La rationalisation

Il est en principe inexact de parler de grandeur ou d'unité rationalisée. C'est l'écriture des équations qu'on rationalise de façon à rendre celles-ci pédagogiquement acceptables. Comme il existe dans certains cas la possibilité pour une manifestation de se mesurer en unités de même dimension mais en valeurs numériques différentes selon que l'équation de définition est écrite sous la forme rationalisée ou non, on peut cependant, afin de les distinguer, parler de grandeurs ou d'unités rationalisées et non rationalisées.

Précisons que la rationalisation ne concerne en général que les grandeurs figurant dans le tableau II.

Tableau II *

| Grandeurs | Symboles | | Relations |
|---|---------------|------------------|-----------------------------------|
| | rationalisés | non rationalisés | |
| Champ magnétique | H | H' | $H' = 4\pi H$ |
| Force magnétomotrice | F_m | F'_m | $F'_m = 4\pi F_m$ |
| Réductance magnétique | R_m | R'_m | $R'_m = 4\pi R_m$ |
| Polarisation magnétique | B_i | J' | $J' = B_i/4\pi$ |
| Déplacement électrique | D | D' | $D' = 4\pi D$ |
| Flux électrique | Ψ | Ψ' | $\Psi' = 4\pi \Psi$ |
| Perméabilité | μ | μ' | $\mu' = \mu/4\pi$ |
| Permittivité | ε | ε' | $\varepsilon' = 4\pi \varepsilon$ |
| Susceptibilité magnétique (nombre pur) | $[\kappa]$ | κ' | $\kappa' = \kappa/4\pi$ |
| Susceptibilité électrique (nombre pur) | $[\chi_e]$ | χ'_e | $\chi'_e = \chi_e/4\pi$ |

Il se trouve que l'on rencontre habituellement seulement quelques-unes de ces grandeurs dans des résultats, tables, etc... Ce sont notamment le champ magnétique et la susceptibilité magnétique.

Une importante différence de points de vue s'est manifestée en ce qui concerne l'appellation des grandeurs. Selon l'avis de l'UIPPA, ce sont les grandeurs et non les unités qui sont touchées par la rationalisation et devraient recevoir des noms particuliers pour les distinguer des grandeurs non rationalisées utilisées avec les systèmes CGS. La majorité de représentants de la CEI ont préféré considérer le terme grandeur comme une manifestation expérimentale mesurable et rattachée aux dimensions, auquel cas c'est seulement la valeur de l'unité qui est différente et doit être baptisée différemment. Le point de vue de l'UIPPA a, dans un sens, un caractère plus général étant donné qu'il permet de distinguer entre une susceptibilité rationalisée et une susceptibilité non

rationalisée, grandeurs qui sont toutes les deux des nombres sans dimension mais de valeur différente pour une même substance. L'argument principal de l'UIPPA est cependant que leur point de vue permet l'utilisation ou non de la rationalisation, indépendamment des systèmes d'unités choisis.

On pourrait, pour rapprocher les deux points de vue, considérer le terme « rationalisé » comme une propriété (par exemple une dimension hypothétique d'angle), auquel cas on doit admettre simultanément les termes « grandeur rationalisée » et « unité rationalisée », car nous représentons habituellement une grandeur par le produit d'un nombre pur et de son unité.

Il est facile d'imaginer que cette profusion des noms de grandeurs serait un casse-tête supplémentaire, aussi bien pour les techniciens que pour les étudiants. Dans le calcul pratique, il faut écarter la possibilité d'exprimer la mesure d'un même phénomène par deux grandeurs différentes en utilisant la même unité (par exemple champ rationalisé $H = 10 \text{ A/m}$ et champ non rationalisé $H' = 126 \text{ A/m}$).

Compte tenu des autres différences dimensionnelles que peuvent présenter entre eux deux systèmes particuliers d'unités, il est sans doute préférable de se conformer à l'usage unique soit de la rationalisation, soit de la non rationalisation, avec chaque système. Dans ce cas, il n'est pas, en général, nécessaire de spécifier si un résultat exprimé dans une unité se rapporte à une grandeur rationalisée ou non rationalisée.

La Recommandation de l'ISO a suivi cette dernière voie en ce qui concerne les unités MKSA, mais parle de grandeurs non rationalisées pour les systèmes CGS ou, néo CGS. Cette solution « diplomatique » aurait eu bien plus de valeur si, sans utiliser le terme « rationalisé », on avait donné des nouveaux noms (*) dans le MKSA pour les grandeurs « susceptibilité magnétique » et « susceptibilité électrique » qui, dans un système rationalisé, s'expriment par les nombres

$$\mu_r - 1 \quad \text{et} \quad \varepsilon_r - 1$$

alors que les tables de constantes publiées jusqu'ici se réfèrent toujours aux grandeurs non rationalisées correspondantes qui, indépendamment des symboles employés, sont caractérisées par les nombres

$$\frac{\mu_r - 1}{4\pi} \quad \text{et} \quad \frac{\varepsilon_r - 1}{4\pi}$$

La différence exprimée par le facteur 4π est trop faible pour éviter des erreurs et trop forte pour être négligée. En revanche, il ne peut pratiquement pas y avoir de confusion entre les anciens symboles μ ($= \mu_r$), ε ($= \varepsilon_r$) des systèmes CGS et les nouveaux symboles μ , ε du système MKSA car on attribue des dimensions à ces derniers et exprime d'ailleurs en général toujours les caractéristiques des substances par les valeurs relatives μ_r et ε_r .

On a suggéré différentes méthodes de rationalisation des équations. Bien que les avis aient été partagés, on s'est mis d'accord sur une méthode dérivée de celle proposée par Giorgi et qui effectue la rationalisation par l'attribution d'une valeur appropriée

(*) comme par exemple « réactibilité magnétique » et « réactibilité électrique ».

à la perméabilité du vide μ_0 . Cette méthode est la seule qui doit être retenue pour l'emploi avec le SI.

Dans l'enseignement, on peut interpréter la rationalisation en utilisant le raisonnement suivant :

Lorsqu'on construit un système d'équations groupant toutes les grandeurs électriques et magnétiques, le point de départ est toujours l'interaction des forces électrostatiques. Or, ce point de départ peut être différent selon que l'on considère l'interaction directe de deux charges ponctuelles Q_1 et Q_2 ou bien l'action sur la charge Q_1 d'un champ électrique créé par un flux électrique issu de la charge Q_2 .

Dans le premier cas on obtient, selon les expériences de Coulomb et sans égard à l'existence d'un champ électrique :

$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{\epsilon' \cdot r^2} \quad (\text{écriture non rationalisée})$$

ϵ' est ici une constante de proportionnalité qui tient compte aussi des caractéristiques du milieu où s'effectue l'interaction, et r est la distance entre les charges ponctuelles.

Dans le deuxième cas, on suppose que l'interaction est due à un champ électrique E ayant le caractère d'un quotient d'une différence de potentiel par unité de longueur

$$\left(E = \frac{dU}{ds} \right)$$

On définit la force par la relation $F = Q_1 \cdot E$.

Pour déterminer l'action de la charge Q_2 sur la grandeur E on suppose l'existence d'un flux de lignes électrostatiques appelé aussi flux de déplacement et défini comme $\Psi = \int D \, dA$ où D est le flux surfacique (ou « déplacement ») dans la section dA .

Dans un but didactique on peut ici, tout comme pour le champ magnétique, formuler une loi d'écoulement du flux électrique, ce qui nous donne pour un élément de longueur ds :

$$E \cdot ds = \frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{ds}{dA} \, d\Psi$$

où $d\Psi = D \, dA$

et par conséquent $E = \frac{D}{\epsilon}$

Le coefficient ϵ est une constante de « conductivité » pour le flux électrique qui est propre au milieu où s'effectue l'interaction. Comme pour la perméabilité, il devient tout naturel d'accorder une dimension à ϵ que l'on baptise permittivité (ou parfois constante

diélectrique). Pour déterminer la relation entre D et Q_2 , nous revenons à la grandeur du flux électrique. Le flux issu de la charge Q_2 est proportionnel à celle-ci, donc

$$\Psi = k \cdot Q_2$$

où k est une constante qui nous permet de choisir l'unité et la dimension de Ψ . Les expériences d'influence électrique (par exemple celle de l'électrophore) nous enseignent qu'il est inutile d'introduire une dimension particulière pour la grandeur Ψ et que l'on peut donner à cette grandeur la même dimension que pour la charge. Le flux électrique peut être considéré comme une grandeur didactique et nous pouvons poser pour simplifier $k = 1$ (nombre pur).

Dans ce cas, nous avons à la distance r de la charge ponctuelle Q_2

$$D = \frac{Q_2}{4 \pi r^2} \quad (\text{écriture rationalisée})$$

car le flux, supposé uniforme, se répartit sur une surface sphérique $A = 4 \pi r^2$.

La force devient par conséquent :

$$F = Q_1 \cdot \frac{D}{\varepsilon} = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4 \pi \varepsilon r^2} \quad (\text{écriture rationalisée})$$

Si l'on choisit $k = 4 \pi$, on obtient l'équation non rationalisée mais, bien que ce choix ramène l'équation de Coulomb à son écriture d'origine, il ne se justifie pas autrement.

Une conséquence peu acceptable de l'écriture non rationalisée est par exemple le fait qu'en considérant un élément de surface de forme arbitraire et ayant une charge dQ répartie, on est obligé d'exprimer la densité du flux qui sort tout près de la surface par

$$D' = 4 \pi \frac{dQ}{dA} \quad (\text{écriture non rationalisée})$$

Dans un langage imagé, on peut expliquer ceci comme si chaque charge élémentaire donne lieu à 4π lignes de flux, alors que dans la forme rationalisée nous obtenons simplement :

$$D = \frac{dQ}{dA} \quad (\text{écriture rationalisée})$$

La grandeur E est sans doute la plus importante en électrostatique. La valeur de son unité ne se trouve pas touchée par la rationalisation car $E = D/\varepsilon = D'/\varepsilon'$. Comme nous l'avons vu précédemment, il n'en est malheureusement pas de même pour l'unité de la grandeur magnétique correspondante, le champ magnétique H , qui elle peut prendre deux valeurs différentes selon qu'on utilise une forme rationalisée ou une forme non rationalisée de l'équation de définition.

Dans les systèmes CGS, on dérive également les équations des grandeurs magnétiques en utilisant la loi de Coulomb pour des masses magnétiques hypothétiques. Il s'ensuit que lorsqu'on arrive à la loi d'Ampère on est obligé de l'écrire comme suit :

$$\oint H'_s \, ds = 4 \pi \Sigma I \quad (\text{écriture non rationalisée})$$

Dans un système à quatre unités de base, tel que le MKSA, il n'y a pas de raison d'inclure le facteur 4π dans cette définition car les unités magnétiques ne sont pas dérivées en utilisant la loi de Coulomb mais simplement à partir de l'identité : courant électrostatique (courant de charge) = courant électrodynamique (générateur de champ magnétique). Cette identité n'existe pas entre les systèmes CGS électrostatique et électromagnétique, ni en valeur ni en dimension. Certains physiciens ont même supposé que lorsqu'on parle d'un système d'équations électriques à quatre grandeurs de base on exclut automatiquement la forme non rationalisée, mais ce raisonnement n'est plus valable, comme nous l'avons vu, depuis que l'on a introduit les systèmes néo CGS.

En utilisant le SI nous sommes par conséquent libres de définir la grandeur champ magnétique par

$$\oint H_s ds = \Sigma I \quad (\text{écriture rationalisée})$$

Comme pour les unités électrostatiques, il s'ensuit alors que les facteurs 4π et 2π n'apparaissent dans les équations que lors de la présence d'une géométrie sphérique ou circulaire.

La relation entre les grandeurs électrostatiques et magnétiques est obtenue en posant d'abord

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \quad \text{et} \quad \mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

où par convention $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$ ou H/m (écriture rationalisée).

On déduit ensuite ε_0 à partir de la relation de Maxwell (vérifiée par l'expérience)

$$c_0^2 \mu_0 \varepsilon_0 = 1$$

où c_0 est la vitesse de la lumière dans le vide (*) = $2,997\,925 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

d'où $\varepsilon_0 = 8,854\,16 \cdot 10^{-12} \text{ A}^2\text{s}^2/\text{Nm}^2$ ou F/m (écriture rationalisée)

(Dans le calcul courant on peut arrondir $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ et utiliser la valeur

$$\varepsilon_0 \approx \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9} F/m$$

qui est exacte à 10^{-3} près et plus facile à retenir).

On déduit facilement les équations de la plupart des grandeurs électriques et magnétiques du système rationalisé à partir des principes énoncés. Ces équations figurent déjà dans un grand nombre de traités récents d'électromagnétisme ; dans le tableau I nous en avons simplement choisi quelques-unes afin de les comparer avec celles des systèmes CGS. Remarquons en passant qu'on ne peut que condamner la pratique de certains livres élémentaires de physique qui, tout en utilisant les unités SI, évitent l'emploi de μ_0 et de ε_0 en tant que grandeurs et les remplacent dans les équations, par des facteurs purement numériques, de sorte que ces équations apparaissent sous un aspect non rationalisé et ne permettent pas le contrôle dimensionnel.

Il est aujourd'hui admis, comme nous l'avons déjà dit, que le SI est un système exclusivement rationalisé bien qu'il n'y ait nulle part de mention expresse à ce sujet. Si l'on avait admis également une forme non rationalisée, nous nous serions trouvés pour certaines grandeurs avec deux séries d'unités de même dimension mais ayant un rapport numérique de 4π . La plus gênante serait sans doute celle du champ magnétique H . L'unité pour H dans le système CGS électromagnétique (non rationalisée), l'oersted,

(*) Dumond et Cohen : Recommended values of the Physical Constants. 1963 IUPAP Commission on Nuclidic Masses. Doc. MN 632, Sept. 4, 1963.

correspond au produit $\text{cm}^{-\frac{1}{2}} \cdot \text{g}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{s}^{-1}$. La conversion de cette unité dans le système MKSA a été un des sujets les plus discutés et la discussion n'est peut-être pas encore terminée. La raison en est une longue série de malentendus où se sont trouvés mêlés le problème, en principe insoluble, de la conversion dimensionnelle et celui de la rationalisation ou non du système MKS devenu par la suite MKSA. L'introduction des unités « néo »-CGS avait, soi-disant, facilité le problème de conversion dimensionnelle, mais le problème de la rationalisation était devenu plus ardu car on ne savait pas, et on ne sait peut-être pas encore, si l'on désirait une forme rationalisée ou non de ces nouveaux systèmes. Afin d'éviter le problème dimensionnel et peut-être par similitude avec la définition « diplomatique » de l'ampère, un comité technique de la CEI avait proposé en 1954 les définitions suivantes :

« Un courant de 10 ampères dans un conducteur formant un arc de cercle d'un centimètre de longueur et ayant un rayon de un centimètre produit pour sa part au centre du cercle un champ magnétique de un oersted ».

« Un solénoïde allongé ayant un tour par mètre de longueur axiale, parcouru par un courant de un ampère, produit en son centre un champ magnétique de un ampère-tour par mètre ».

« La contribution au champ magnétique dans le premier cas est égale à $1000/4\pi$ fois le champ magnétique du second cas ».

Dans ces définitions du type « étalon » on a évité de spécifier à quels systèmes de base les unités oersted et ampère-tour par mètre appartiennent. Il s'ensuit que dans des calculs utilisant ces unités, on peut obtenir des résultats numériques différents selon que l'on considère des systèmes à trois ou à quatre unités de base, rationalisés ou non (*).

Dans le document ISO, plus récent, on lit cependant :

« Quand le champ magnétique non rationalisé est égal à 1 B_i/cm , le champ magnétique correspondant est égal à $10^3 (4\pi)^{-1} \text{ A/m}$ ».

Comme par ailleurs « le champ magnétique », dans ce document, désigne seulement une grandeur appartenant aux équations rationalisées, il est permis de conclure que l'unité B_i/cm , qui « correspond » à l'oersted, est exclusivement du domaine non rationalisé.

Il reste aujourd'hui le fait que l'oersted est une unité qui appartient à des systèmes d'équations qui diffèrent de ceux du SI. On ne doit pas d'autre part chercher par un biais à améliorer le défaut du produit dimensionnel du gauss, qui est identique à celui de l'oersted, mais il faut plutôt envisager d'abandonner complètement l'usage de ces deux unités. Le problème de conversion dimensionnelle ne doit pas être exagéré car on peut, en se tenant aux définitions d'origine, utiliser des facteurs de conversion purement numériques.

La rationalisation, au lieu d'être une évolution toute naturelle lors du passage de trois unités à quatre unités de base a, comme nous l'avons dit, soulevé beaucoup de polémiques. Certains adversaires de la rationalisation ont, sans doute trop superficiellement, pensé qu'en l'évitant on pourrait conserver les équations de grandeurs intactes et qu'un changement d'unités ne toucherait ainsi que le domaine du calcul numérique. Cela est

(*) Stille U. : Messen und Rechnen in der Physik, Fr. Vieweg & Sohn, Braunschweig.

faux car, indépendamment de la rationalisation, la vitesse de la lumière intervient comme facteur explicite dans un grand nombre d'équations des systèmes CGS, là où ce n'est pas le cas pour le MKSA.

Bien que cela ne soit pas absolument nécessaire, on peut étendre le concept de la rationalisation à la loi de Newton qui régit en mécanique l'attraction de deux masses, simplement en remplaçant la valeur de la constante d'attraction universelle G par $G_R = 4\pi G$. Il s'ensuit, dans ce cas également, que les opérations mathématiques se rapportant au champ gravimétrique seront plus aisément comprises par les étudiants.

Les noms des unités et les produits d'unités

Les créateurs des systèmes CGS n'avaient pas prévu de noms particuliers pour les unités dérivées de ces systèmes, mais avaient réservé ce privilège aux unités « pratiques » comme le volt, l'ampère, l'ohm, etc... Plus tard, et du fait que certaines unités du système CGS électromagnétique étaient couramment utilisées ensemble avec les unités « pratiques », on avait jugé utile d'introduire les noms gilbert ($\text{cm}^{-\frac{1}{2}} \text{g}^{\frac{1}{2}} \text{s}^{-1}$), oersted ($\text{cm}^{-\frac{1}{2}} \cdot \text{g}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{s}^{-1}$), gauss ($\text{cm}^{-\frac{1}{2}} \text{g}^{\frac{1}{2}} \text{s}^{-1}$) et maxwell ($\text{c}^{-\frac{1}{2}} \text{g}^{\frac{1}{2}} \text{s}^{-1}$). Ces noms sont motivés par le fait qu'il est beaucoup trop lourd et déroutant d'utiliser les produits des unités de base des systèmes CGS comme noms d'unités. Chaque fois que l'on arrive à créer une nouvelle unité de base ou une unité qui dépend d'un étalon particulier il est également nécessaire d'adopter des nouveaux noms, comme par exemple le biot ou le franklin.

Indépendamment du souci d'honorer les grands savants de l'électricité, qui fort heureusement se trouvent avoir des noms courts et assez originaux, on ne doit pas étendre cette pratique inutilement aux unités dérivées sans penser à l'effort mnémotechnique que les étudiants, et même les praticiens, doivent faire pour retenir les définitions et les dimensions rattachées aux unités portant ces noms.

Combien d'éminents physiciens n'ont-ils pas confondu l'oersted avec le gauss, unités qui ont la même dimension. Dans le SI il ne peut pas y avoir de confusion entre les unités correspondantes si l'on exprime ces dernières par A/m et Vs/m² respectivement, produits d'unités qui distinguent clairement un gradient (champ magnétique) d'un flux surfacique (induction).

Au lieu de conserver ces produits d'unités en tant que noms, on a commencé d'abord par donner le nom weber (Wb) à l'unité volt-seconde (Vs) du flux magnétique qui résulte de l'application de la loi d'induction, et ensuite on a baptisé tesla (T) l'unité de l'induction ($1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$). On a aussi proposé le nom lenz pour l'unité A/m du champ magnétique bien que Lenz, pour la plupart des étudiants, soit plus associé à la loi d'induction qu'à la loi d'Ampère.

En exagérant dans le sens opposé, on n'aurait strictement pas besoin ni du coulomb (= ampère-seconde), ni du joule (= watt-seconde), etc... ; mais il s'agit là d'anciennes unités pratiques dont les équivalences dimensionnelles sont déjà bien connues et dont la signification des grandeurs correspondantes ne constitue pas de problème majeur.

Dans l'enseignement technique, il est avantageux de se contenter d'utiliser des équations d'unités au lieu d'introduire les équations de dimensions qui peuvent paraître un peu plus étranges. L'introduction du SI peut, dans ce cas, faciliter le contrôle d'un calcul si l'on utilise, où cela est possible, au lieu de noms, des produits d'unités afin de réduire les définitions à retenir. Il n'est alors pas nécessaire de retourner aux quatre unités

de base du système MKSA. L'unité kilogramme intervient en fait rarement dans les calculs des grandeurs électriques, ce qui nous permet d'effectuer une transformation, d'ailleurs courante en matière d'analyse dimensionnelle, en remplaçant l'unité kilogramme par son équivalence exprimée en volt et obtenue en utilisant l'équation de grandeur exprimant l'égalité entre les énergies mécanique et électrique

$$F \cdot l = U \cdot I \cdot t$$

$$\text{donc} \quad 1 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \text{ m} = 1 \text{ V As}$$

Les produits d'unités qui résultent de cette transformation des unités de base MKSA en MSVA deviennent alors très simples pour la plupart des grandeurs. Nous en donnons quelques exemples dans le tableau III.

TABLEAU III

| Symbole | Grandeur | | Unité | | Produit d'unités MSVA |
|---------------|----------------------|--------------------|------------------|------------------|-----------------------|
| | Nom | Nom | Nom | Symbole | |
| Q | Charge électrique | coulomb | C | C | As |
| Ψ | Flux électrique | coulomb | C | C | As |
| D | Déplacement | — | C/m ² | C/m ² | As/m ² |
| E | Champ électrique | — | V/m | V/m | V/m |
| C | Capacité | farad | F | F | As/V |
| ε | Permittivité | — | F/m | F/m | As/Vm |
| Φ | Flux magnétique | weber | Wb | Wb | Vs |
| B | Induction | tesla | T | T | Vs/m ² |
| H | Champ magnétique | — | A/m | A/m | A/m |
| L | Inductance | henry | H | H | Vs/A |
| μ | Perméabilité | — | H/m | H/m | Vs/Am |
| R | Résistance | ohm | Ω | Ω | V/A |
| G | Conductance | siemens | S | S | A/V |
| R_m | Réductance | — | H ⁻¹ | H ⁻¹ | A/Vs |
| F_m | Force magnétomotrice | ampère- (tours) | A | A | A |

Le problème linguistique des grandeurs est souvent plus important sur le plan pédagogique que celui de trouver des noms aux unités dérivées du SI. Il est regrettable, par exemple, qu'en français le terme « champ magnétique » signifie aussi bien la manifestation en elle-même que la grandeur H . D'autre part, c'est un fait que lorsqu'on parle d'un champ électrique fort, on pense bien à la grandeur E , mais lorsqu'on parle

d'un champ magnétique fort, on ne pense pas, dans la plupart des cas, à la grandeur H qui est un gradient mais à la grandeur B qui représente une densité de flux. Les noms « potentiel magnétique linéique » pour H et « flux magnétique surfacique » pour B seraient sans doute mieux adaptés à la philosophie du système MKSA que « champ magnétique » et « induction ».

Pour revenir aux unités, on pourrait au moins souhaiter que, dans l'avenir, les unités représentant des gradients, des densités ou des vitesses ne reçoivent pas de noms particuliers, mais soient conservées sous forme d'unités composées.

Pour terminer, nous dirons quelques mots sur les multiples des unités composées.

Il arrive fréquemment qu'on exprime par exemple la densité de courant dans un conducteur en A/mm^2 . Cette unité appartient bien au SI du point de vue définition mais, en toute rigueur, on devrait écrire ce multiple MA/m^2 , ce qui est peu didactique étant donné que la densité de courant est souvent produite par un courant de quelques ampères dans un fil ayant une section de l'ordre du millimètre carré. L'application de règles trop strictes dans ce domaine peut, comme pour les unités de pression et de contrainte en mécanique, nuire à la pénétration du SI dans l'usage pratique. Ce qui importe dans le SI est le fait que ce système permet de construire des équations simples, faciles à retenir et mathématiquement et physiquement acceptables tout en employant le plus grand nombre possible d'unités pratiques pour l'usage courant. A l'exception du kilogramme, tout multiple est non cohérent avec le système d'équations du SI et nécessite une conversion numérique avant son introduction dans une équation. Pour une unité constituée par un quotient, il n'y a en fait pas une grande importance si cette conversion s'effectue en utilisant l'équivalent d'un préfixe ou par une conversion numérique du dénominateur. Tout comme pour certains multiples à préfixe qui ne sont pratiquement plus utilisés, tels que l'hectomètre, le décamètre, etc..., il faut cependant limiter au minimum par convention le nombre des unités composées pouvant prendre un multiple au dénominateur. On pourrait ainsi admettre par exemple l'usage pratique des unités A/mm^2 et N/mm^2 comme multiples du SI, mais il faut en tout cas éviter l'usage simultané de préfixe dans le numérateur et dans le dénominateur.

Conclusions

Pour le lecteur qui n'est pas particulièrement familiarisé avec les problèmes des unités électriques, nous avons voulu présenter les aspects bénéfiques de l'introduction dans l'enseignement du Système International d'Unités et nous pouvons résumer les conclusions de cet exposé comme suit :

— — Beaucoup de malentendus auraient sans doute pu être évités dans le passé si, lors de l'introduction du système MKSA, partie essentielle du SI, on s'était mis d'accord sur l'écriture des équations de grandeurs avant de discuter les unités et leur définition car, en électricité, chaque système d'unités appartient à un système différent d'équations de grandeurs.

— — Dans les calculs, on ne peut sans risque d'erreur utiliser un système d'équations de grandeurs avec des unités d'un autre système. Pour une grandeur de même signification physique, la conversion d'une unité d'un système à celle d'un autre système doit par conséquent s'effectuer seulement dans le résultat du calcul et à l'aide d'un facteur numérique de conversion, sans égard aux dimensions de deux unités.

— — On peut envisager, pour chaque combinaison d'unités de base, une forme rationalisée et une forme non rationalisée de l'écriture des équations. La valeur des résultats exprimés dans une unité dépend pour certaines grandeurs de la forme adoptée. Afin d'éviter des confusions, on ne doit jamais utiliser les unités CGS, y compris l'unité oersted, qu'avec des équations non rationalisées. Les unités du SI doivent par contre, obligatoirement, être utilisées avec des équations rationalisées.

— — L'utilisation correcte du SI comporte la reconnaissance des constantes μ^0 et ϵ^0 comme des grandeurs ayant des dimensions.

— — La définition actuelle de l'ampère n'est pas satisfaisante en tant qu'unité de base du Système International d'Unités. Une nouvelle définition ou, si l'on veut, une amélioration de la définition actuelle pourrait par exemple simplement prendre la forme suivante :

« La valeur de l'ampère est telle que la perméabilité du vide μ^0 a pour valeur dans le Système International d'Unités $\mu^0 = 4 \pi 10^{-7}$ H/m (ou N/A²) ».

SUISSE

JAUGEAGE des GRANDS RÉSERVOIRS de PÉTROLE

par **W. LOTMAR**

Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Wabern/Berne — Suisse

1 — Introduction

Eu égard à la rapide augmentation du nombre de grands réservoirs de pétrole, le problème de leur jaugeage mérite quelque attention.

La méthode classique, à savoir la mesure des circonférences à l'aide d'un fil d'acier à différents niveaux, n'est souvent pas applicable ou offre des difficultés causées par les particularités de construction des réservoirs.

Les méthodes utilisées par le Bureau Fédéral des Poids et Mesures lors de la calibration des 80 réservoirs de la Raffinerie du Rhône à Collombey ont fait le sujet d'une étude.

Le procédé le mieux adapté au cas où la mesure à fil n'est pas applicable sur toute la hauteur est le « sondage » optique de la paroi du réservoir en combinaison avec une mesure d'une circonférence à un niveau accessible.

Cette méthode a également été adoptée par le Oesterreichisches Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen et a été décrite récemment dans ce Bulletin par M. A. Frieber.

Étant donné que, d'une part, notre procédé diffère par plusieurs détails de celui décrit par cet auteur et que, d'autre part, il a pu être amélioré encore entre-temps, nous nous permettons de décrire ici brièvement notre variante.

2 — Procédé de sondage optique des parois des réservoirs.

Cette méthode consiste dans la réalisation optique d'une droite verticale au moyen de l'axe optique d'une lunette de mesure et dans la détermination des écarts existant à différents niveaux entre la paroi du réservoir et cette droite à l'aide d'une règle perpendiculaire à la paroi et glissant le long d'elle (la figure 1 montre l'ensemble utilisé).

La lunette est un niveau automatique disposé à 3 m environ du réservoir, et la transformation de son axe horizontal en une verticale est effectuée à l'aide d'un prisme pentagonal fixé sur la paroi par un aimant puissant.

Avec cet arrangement il est possible d'obtenir des mesures à un niveau très voisin de celui du prisme, en contraste avec ce qui peut être réalisé à l'aide d'un instrument de plombage normal.

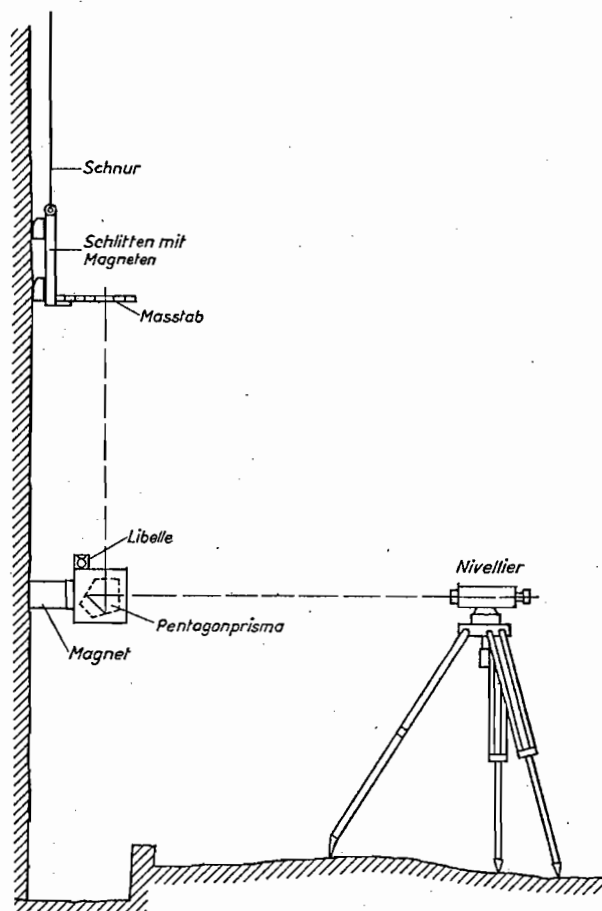


FIG. 1

Il est vrai que la distance relativement grande entre l'instrument et le prisme rend l'ajustage correct quelque peu plus difficile, mais une méthode pour effectuer cet ajustage en quelques minutes a été mise au point (voir plus loin).

Pour la mesure, on s'est servi d'une règle millimétrique transparente (en matière plastique) montée sur un coulisseau muni de pieds magnétiques glissant le long de la paroi du réservoir. Ce coulisseau est tiré de mètre en mètre à l'aide d'un treuil fixé sur le bord supérieur du réservoir.

La précision de la lecture est de $\pm 0,5$ mm environ pour une hauteur de 10 m et de ± 1 mm jusqu'à 16 m, ce qui est suffisant pour le but envisagé.

La seule difficulté rencontrée quelquefois en utilisant cette méthode est la turbulence de l'air quand un réservoir vide est fortement ensoleillé. Cette turbulence est pourtant limitée à une couche d'air de quelques centimètres d'épaisseur. C'est pour cette raison (entre autres) qu'on a fixé la position de l'axe optique de mesure à 15 cm de distance de la paroi.

Le sondage optique est possible aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur d'un réservoir. Les réservoirs ouverts (à toit flottant) ont été mesurés à l'intérieur, les réservoirs à toit fixe, à l'extérieur (dans ce dernier cas, la méthode décrite ne peut plus être appliquée quand il existe un escalier qui occupe une partie trop importante de la circonférence.

Pour les réservoirs ouverts où la mesure optique était effectuée en se plaçant sur le toit flottant reposant sur ses soutiens, le point de mesure le plus bas se trouvait à 4,5 m du fond. Les points inférieurs étaient alors déterminés à l'aide d'un fil à plomb.

La détermination du volume par sondage optique doit être complétée par la mesure du diamètre à une hauteur choisie, ceci était fait par la méthode classique du fil de mesure à la hauteur de 1,5 m.

Procédé d'ajustage : le niveau est mis sur pied et réglé à 3 m environ de la paroi du réservoir.

Sur cette paroi on fixe, à l'aide de pieds magnétiques, un miroir plan de dimensions 15×20 cm parallèle à la paroi en un point tel que l'observateur visant au moyen du niveau aperçoive l'image de la monture de l'objectif de son appareil.

La lunette est alors mise au point sur cette image ajustée latéralement de manière que le fil vertical du réticule la divise symétriquement. Dans cette position, le plan vertical qui contient l'axe du niveau est perpendiculaire au miroir, donc à la paroi du réservoir.

De petites échelles en papier sont collées sur la surface du miroir, formant un réseau chiffré (fig. 2) et si la lunette est alors pointée sur ces marques, il est possible d'indiquer l'endroit où l'axe de visée rencontre la paroi et d'y faire une marque.

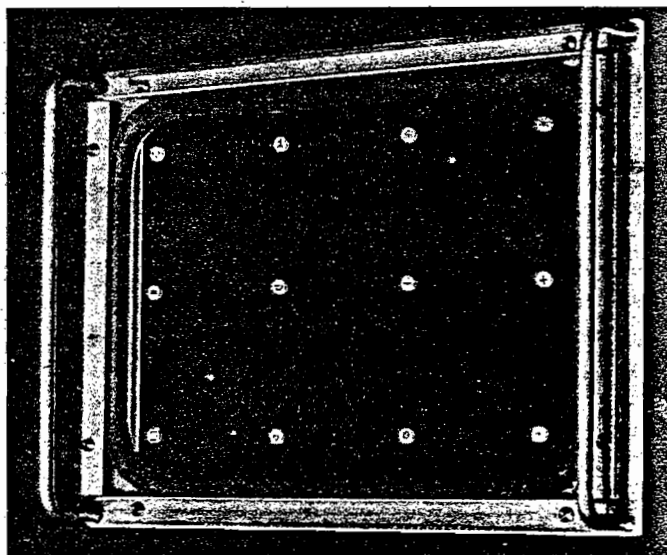


FIG. 2

Après avoir retiré le miroir, on place l'aimant du prisme pentagonal sur cette marque, le prisme sera donc visible dans la lunette et pourra encore être centré plus précisément si besoin est.

La monture du prisme porte un petit niveau (fig. 3) qui sert à rendre vertical son plan de visée, pour en faciliter l'ajustage fin deux leviers sont fixés à la monture (entre la face de collage de l'aimant et la paroi du réservoir on place une feuille de plastique afin de réduire la friction et de garder l'aimant propre).

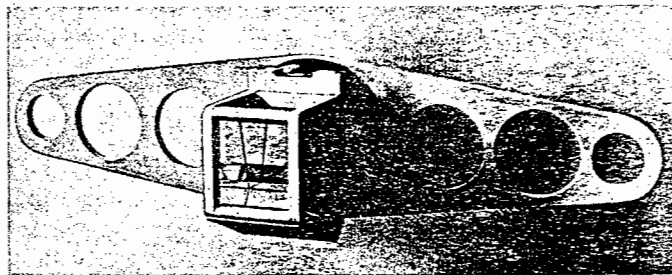


FIG. 3

L'ajustage étant alors terminé, on peut commencer les mesures en mettant le coulisseau à règle à l'endroit du premier point qui se trouvera directement au-dessus du prisme.

Le coulisseau porte-règle (fig. 4) est monté le long de la paroi par un câble tiré à l'aide du treuil par un assistant, chaque virole est pointée à 1/4 et à 3/4 de sa hauteur.



FIG. 4

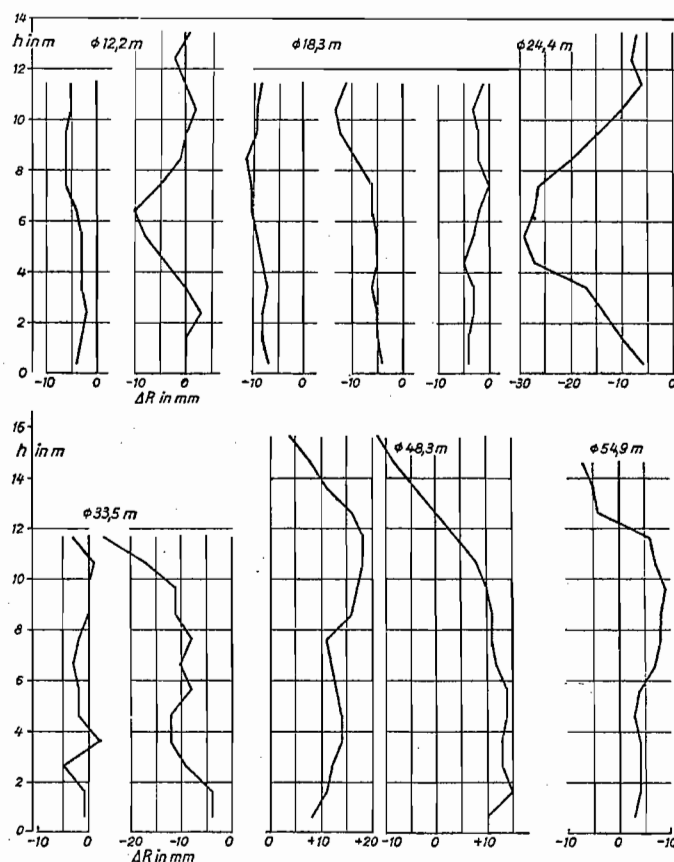


FIG. 5

Le treuil est fixé en haut de la paroi ou sur le parapet du toit, ses diverses positions correctes pour 6 verticales dans le cas des réservoirs à diamètre égal ou inférieur à 33 m, et 8 verticales pour les réservoirs plus grands ayant été au préalable contrôlés par visées à la lunette.

Avec un premier coulisseau magnétique (décrit dans une note antérieure), il pouvait y avoir des décollements de l'aimant de la paroi lors du passage des soudures, ce qui causait des pertes de temps. On a modifié en conséquence la construction du coulisseau qui est maintenant composé de deux pièces liées par une charnière (fig. 4), de ce fait l'inconvénient mentionné a complètement disparu, et le nouveau coulisseau est capable de passer par dessus des saillies de 20 mm d'épaisseur sans se détacher.

Comparée à la méthode autrichienne publiée précédemment nous croyons qu'il est permis de citer comme avantages les points suivants :

- 1) Le prisme déviateur n'a pas besoin d'être manœuvré pendant la mesure,
- 2) Il est possible de vérifier le chemin vertical de la règle avant la mesure. D'autre part même de légères déviations de la verticale n'ont pas d'influence importante,

- 3) Il n'y a pas de correction à faire pour la courbure de la paroi parce que les deux-aimants-guides de la règle ne sont distants que de 3 centimètres,
- 4) Le coulisseau de la règle est beaucoup plus léger que le chariot décrit par Mr Friebe, ce qui ne manque pas d'être un avantage pour le transport et le montage du treuil.

3 — Analyse des résultats

A partir des points sondés et compte tenu des épaisseurs des viroles, on obtient le profil intérieur moyen du réservoir qui peut alors être porté sur un graphique.

Ce profil a été représenté en moyenne par une courbe du deuxième degré, c'est-à-dire que le rayon R_h du réservoir en fonction de la hauteur h a été exprimé par

$$R_h = R_0 + \Delta R + Ah + Bh^2,$$

où R_0 signifie le rayon de base, ΔR la déviation de ce rayon à hauteur 0, A et B des constantes déterminées au moyen de la courbe moyenne.

Le volume (contenu) du réservoir en fonction de la hauteur du liquide a été calculé d'après cette formule en pas de 1cm par l'ordinateur IBM 7070 du Bureau Fédéral de Statistique et imprimé en forme de tableaux, en tenant compte du volume des tubes de chauffage et de la dilatation thermique des réservoirs.

La figure 5 montre quelques-uns de ces profils moyens, celui de la plus petite et celui de la plus grande déviation d'un cylindre régulier ayant été choisis pour chaque groupe de diamètre.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Schweiz. Bauzeitung 82, 749 (1964).
(2) Bull. O.I.M.L. N° 23, p. 33 (1966).

Rép. Féd. d'ALLEMAGNE

NORMALGERÄTE BESONDERER BAUART

von Dr.-Ing. **Wolfgang von OHNESORGE**
Regierungseichdirektor
Landeseichdirektion Köln

INTRODUCTION

M. le Dr Ing. von OHNESORGE, Directeur du Bureau de Métrologie Légale du Land de Cologne dans la province de Nord-Rhein Westphalie, a fait parvenir au Bureau un article sur les appareils étalons de construction spéciale réalisés et utilisés par la Landeseichdirektion pour la vérification des longueurs, des volumes des liquides, des volumes industriels de gaz, des ponts-bascules et des instruments mesurant la charge des essieux des véhicules.

L'administration du Service de Cologne est responsable pour les régions de Cologne, Düsseldorf et Aachen dont la population est d'environ 9 millions d'habitants et où dominent les industries sidérurgiques et minières.

Elle dispose de 12 bureaux de vérification et de 200 fonctionnaires et, par ailleurs, surveille 46 bureaux de vérification des instruments électriques qui s'occupent de plus de 4 millions d'instruments; enfin, des postes de vérification de verrerie de laboratoire et d'armes à tir lui sont subordonnés.

Le Bureau est heureux de publier cet article très pratique sur les étalons utilisés à Cologne et nous remercions vivement l'auteur pour sa contribution.

1) DER AUFSICHTSBEZIRK DER LANDESEICHDIREKTION KÖLN

Die Landeseichdirektion Köln ist die im Lande Nordrhein - Westfalen zuständige Eichaufsichtsbehörde für die drei rheinischen Regierungsbezirke Köln, Düsseldorf und Aachen mit einer Bevölkerung von 9 Millionen und der Bevölkerungsdichte von 720 Einwohnern je Quadratkilometer, betreut also Handel und Industrie in einem der am dichtesten besiedelten Bezirke des europäischen Raumes. Die Eichdirektion untersteht als selbständige Mittelinstanz unmittelbar dem Minister für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr des Landes Nordrhein — Westfalen, ihr sind gegenwärtig 12 Eichämter mit 200 Beamten und Angestellten nachgeordnet; ferner ist sie Aufsichtsbehörde für 46 elektrische Prüfmäster, Nebenprüfmäster und Aussenstellen mit einem Bestand von rund 4 Millionen Elektrizitäts-Meßgeräten. Angegliedert sind der Eichaufsichtsbehörde ferner eine Eichstelle für Meßgeräte aus Glas (Büretten, Pipetten, Butyrometer usw.) in Essen und eine Beschuß-Nebenstelle in Leverkusen für die Prüfung von Beschußgeräten. Die Wirtschaftliche Struktur des Aufsichtsbezirkes ist gekennzeichnet durch die Schwerindustrie (Eisen und Stahl), den Bergbau (Braunkohle und Steinkohle), die Mineralöl-Raffinerien und chemischen Großbetriebe des Rhein-Ruhrbezirks, vor

allem aber durch die zahlreichen Unternehmen zur Herstellung von eichpflichtigen Meßgeräten. Der Anteil der Neueichung (Vérification primitive) von Meßgeräten in den Betrieben des Herstellers an der gesamten Tätigkeit der rheinischen Eichbehörde ist daher hoch und beträgt mehr als ein Drittel des Arbeitsvolumens. Ebenfalls ist die Zahl der Meßgeräte verhältnismäßig hoch, die in regelmäßigen Fristen instandgesetzt, justiert und zu den Bedingungen der Neueichung am Aufstellungsort « verschärft nachgeeicht » werden wie zum Beispiel Brückenwaagen von mehr als 3 t Höchstlast oder Zapfsäulen für Kraftstoffe auf den Tankstellen des Mineralölhandels.

Die periodische Nacheichung (Vérification périodique) der im öffentlichen Verkehr befindlichen Meßgeräte innerhalb der gesetzlich vorgeschriebenen Nacheichfristen und die Überwachung von Meßgeräten und Betrieben (surveillance) machen den restlichen Teil der Tätigkeit der nachgeordneten Eichbehörden aus. Die Zahl von rund 1500 Brückenwaagen für Kraftfahrzeuge im Straßenverkehr -im folgenden Fahrzeugwaage genannt- mit Höchstlasten von 15 bis 50 t, von denen bei einer dreijährigen Nacheichfrist also 500 Stück alljährlich nach Instandsetzung verschärft nachgeeicht werden müssen, hat Anlaß zur Entwicklung von besonderen Normalgeräten zur meßtechnischen Verbesserung, Beschleunigung und Mechanisierung des Prüfvorganges dieser Waagengattung gegeben. Das gleiche gilt für die Prüfung von stationären Meßanlagen und Meßanlagen an Tankwagen oder Flugfeldtankwagen mit Zählern für Flüssigkeiten, die entweder am Aufstellungsort oder zur Vermeidung kostspieliger Transporte mit Normalgeräten ausserhalb der Amtsstelle nachgeprüft werden. Normalgeräte sind Meßgeräte, mit denen die Richtigkeit anderer Meßgeräte geprüft wird. Die deutsche Eichbehörde unterscheidet zwischen Gebrauchsnormalgeräten mit einer Abweichung vom Sollwert um höchstens das 0,4 fache der in der Eichordnung vorgeschriebenen Fehlergrenze für Handelsmeßgeräte (niveau 4, vgl. l'introduction du Système Métrique... par F. Viaud, 23^e Bulletin de l'Organisation Internationale de Métrologie Légale, Paris, mars 1966), Kontrollnormalgeräte mit der Abweichung um höchstens das 0,1 fache der Fehlergrenze (niveau 3), Hauptnormalgeräte mit Angabe der Fehler und der Meßunsicherheit (niveau 2) und Abbildungen der Urnormalgeräte (niveau 1). Gebrauchs- und Kontrollnormalgeräte befinden sich im Eichamt. Die Kontrollnormalgeräte der Eichämter werden von der Landeseichdirektion laufend überwacht und an die Hauptnormalgeräte angeschlossen, die sich ausschließlich im Gewahrsam der Aufsichtsbehörde befinden. Die Hauptnormalgeräte werden von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig beglaubigt und in angemessenen Fristen nachbeglaubigt.

In den folgenden Abschnitten sollen verschiedene Bauarten von Normalgeräten zur Eichung von Fahrzeugwaagen, von Meßanlagen mit Zählern für Flüssigkeiten, von Längenmeßgeräten und von Gaszählern beschrieben werden, die von der Kölner Behörde entwickelt worden sind.

II) KOMPARATOR (KONTROLLNORMALGERÄT) ZUM PRÜFEN VON GEBRAUCHSNORMALGERÄTEN FÜR MAßSTÄBE UND BANDMAßE

1) Beschreibung und Einrichtung des Gerätes

Der Komparator ist in einem Raum mit Regelung der Lufttemperatur und Feuchtigkeit aufgestellt und ruht auf einem Bett aus Gußeisen von 2500 mm Länge mit Stützfüßen und Grundplatte. Auf der Gleitfläche des Gußbettes kann ein Mikroskop-

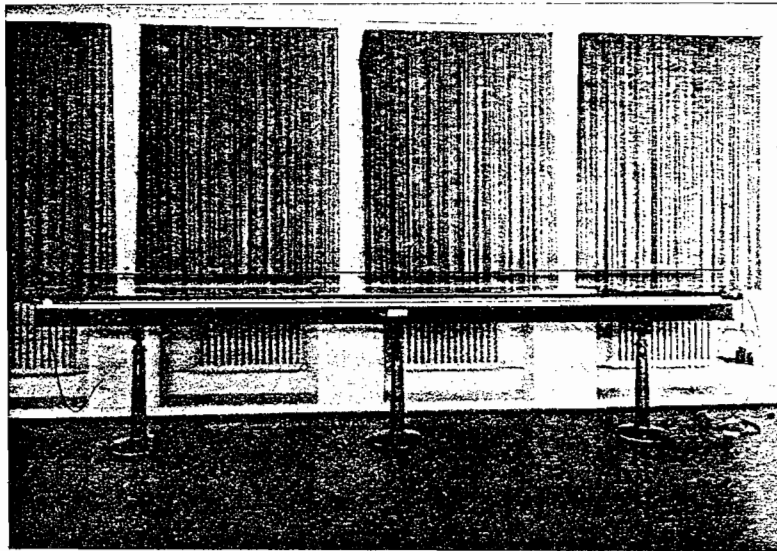


FIG. 1

Komparator (Gebrauchsnormalgerät) 5 m mit Umspannvorrichtung zu: Prüfung von Messbändern verschiedener Länge

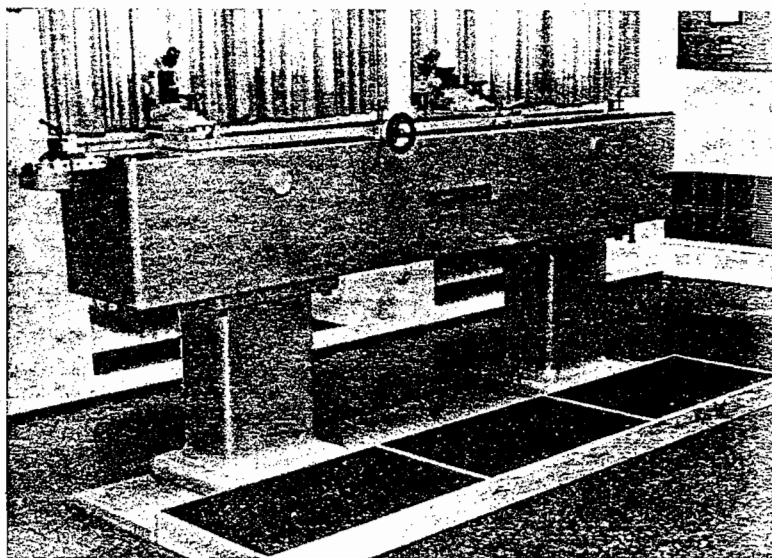


FIG. 2

Komparator (Kontrollnormalgerät) zur Prüfung von Gebrauchsnormalgeräten für Präzisionsmassstäbe 2 m und Präzisionsbandmasse verschiedener Länge. Teilung der indirekt beleuchteten Kreisskale im Mikroskop 1 Mikrometer

schlitten von 1400 mm Länge verschoben werden, auf dem wiederum 2 kleine Schlitten als Mikroskopträger verstellbar angeordnet sind. Ein Mikroskop trägt eine auswechselbare Optik für Vergrößerungen in 10, 20 und 30 fachem Maßstabe mit Fadenkreuz zur Einstellung der Teilstriche des Prüflings, das andere Mikroskop trägt ein Okularmikrometer mit 50 facher Vergrößerung zur Einstellung auf die Teilung des Normalmaßstabes. Im Okularmikrometer befindet sich eine Längsskala von 1 mm Länge mit 10 Teilstrichen (0,1 mm) und eine drehbare Kreisskala für den Abschnitt 0,1 mm, der in 100 Teilstriche je 0,001 mm = 1 Mikrometer (μm) geteilt ist. Ein Teilabschnitt (1 μm) erscheint in der Optik etwa 1,5 mm breit, die Ablesegenauigkeit darf also mit etwa 0,2 Mikrometer geschätzt werden (siehe Abschnitt II 3). Beide Mikroskope lassen sich in verschiedene Richtungen verstellen. Jedes Mikroskop wird indirekt beleuchtet, die Lichtstärke ist regelbar.

Als Kontrollnormal für die Prüfung von Gebrauchsnormalen dient ein Maßstab der Normausführung « DIN 865 » mit H — förmigen Querschnitt von 1 m Länge, in Millimeter geteilt, beglaubigt von der PTB in Braunschweig und mit Fehlertabelle für jeden der Teilstriche von 1 bis 1000 mm ausgestattet.

2) *Bedienung des Komparators*

Der Komparator dient zur Prüfung von Gebrauchsnormalgeräten für Handelsmaße und Präzisionsmaße von 1 m und 2 m Länge sowie zur Prüfung von Bandmaßen verschiedener Länge. Prüfling 1 m und Normal 1 m werden in Meßrichtung hintereinander liegend angeordnet und nach dem Komparatorprinzip von Abbé geprüft. Prüfling 2 m und Normal 1 m werden parallel zueinander angeordnet, weil die Prüfung abschnittsweise erfolgen muß. Das Verfahren ist bei paralleler Lagerung von Prüfling und Normal weniger sicher als bei dem ersten Verfahren, weil unbeabsichtigte Verlagerungen des Mikroskopschlittens bei seiner Verschiebung sich auf prüfling und Normal verschieden auswirken. Auch die Prüfung von Bandmaßen muß nach dem zweiten Verfahren (Parallelschaltung) durchgeführt werden. Zur Prüfung des zweiten Meterabschnittes muß das Normal verschoben, ferner das Bandmaß nach jeweils 2 Meter umgespannt werden.

3) *Meßunsicherheit*

Die erreichbare Ablesegenauigkeit wird auf 0,2 μm geschätzt (1 Teilstrich = 1 μm).

Mit Rücksicht auf den Verwendungszweck bei der Eichaufsichtsbehörde ist die Beglaubigung des Kontrollnormals 1 m mit einer Meßunsicherheit von $\pm 5 \mu\text{m}$ gefordert worden. Die Meßunsicherheit in Bezug auf die zugehörige Fehlergrenze der Eichordnung vom 14. April 1965 (Abschnitt I — Längenmeßgeräte) wird bei der Prüfung von Gebrauchsnormalgeräten für Präzisions- und Handelsmaße nicht überschritten.

Temperatur und Feuchtigkeit im Klimaraum werden laufend registriert, um einen Überblick über die Schwankungen einer längeren Zeitperiode zu erhalten. Es werden eine Temperatur von $(20 \pm 0,4) \text{ }^\circ\text{C}$ und eine relative Feuchte von $(50 \pm 2) \%$ angestrebt. Tatsächlich betragen die Schwankungen der Temperatur in der Umgebung des Komparators $\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$.

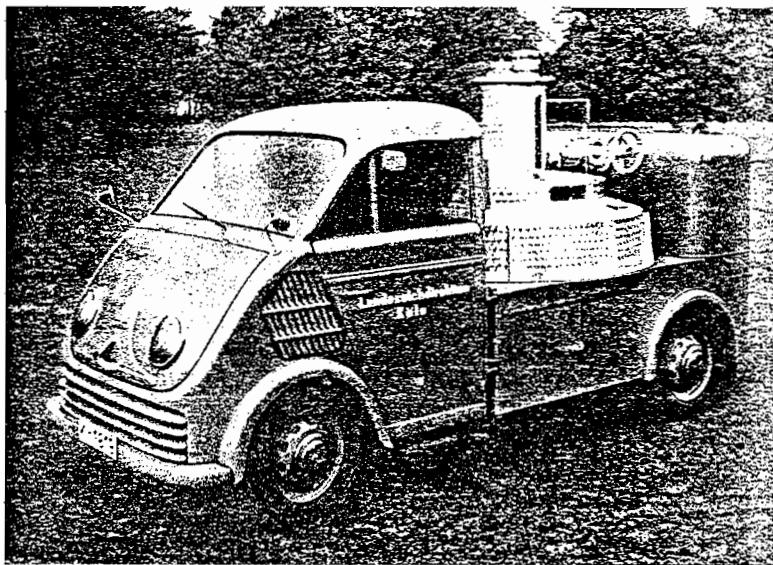


FIG. 4

Fahrbarer Prüfstand für Messanlagen für Flüssigkeiten (Mineralöl). Der Eichkolben fasst 1000 Liter, ein zweiter transportabler Kolben 100 Liter.

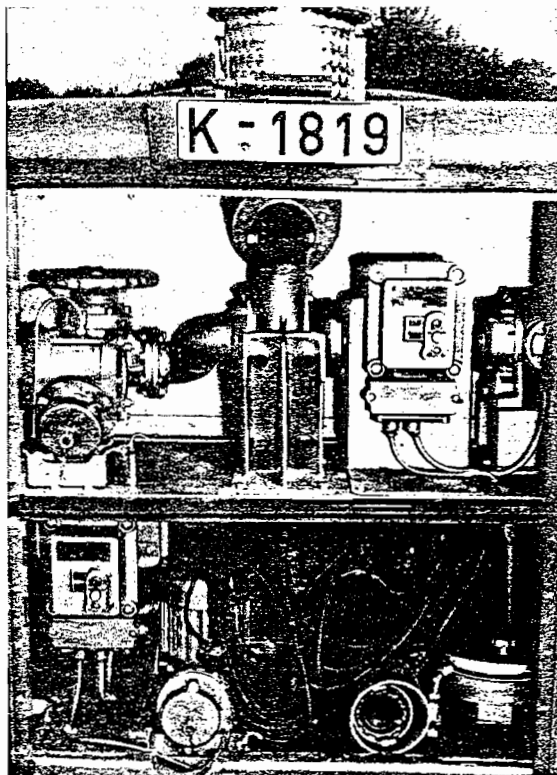


FIG. 5

Pumpenanlage des fahrbaren Kolbens mit 2 Niederdruckpumpen zur Füllung und Entleerung des Kolbens. Neben der Leerpumpe unten sind die Anschlusskabel für die beiden Drehstrommotore und das Erdkabel auf dem Spanntrommel sichtbar.

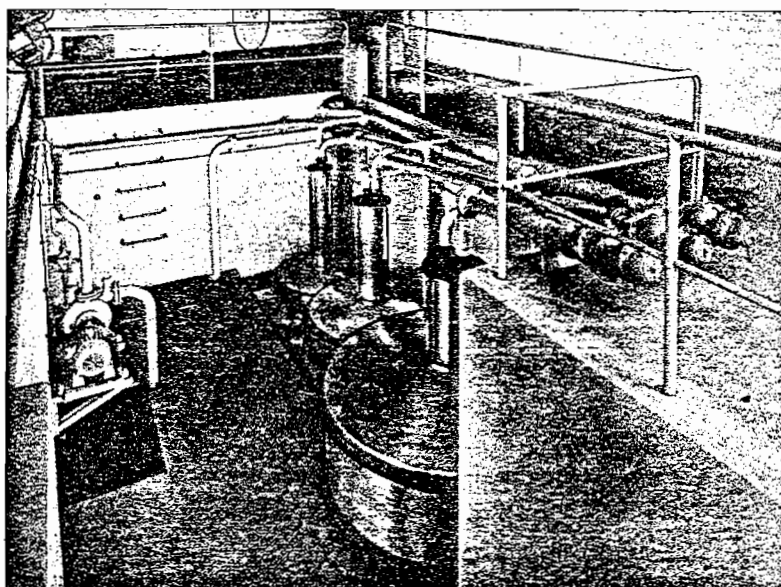


FIG. 3

Tiefprüfstand für Messanlagen mit Mengenzählern an Tankwagen (Mineralöl). Die 3 Eichkolben fassen 100, 500 und 2000 Liter. Der kleine Kolben dient vornehmlich zur Vermessung der « Kleinmenge » und der Restmengen bei der Prüfung von Gasabscheiden und Gasmessverhüten. Das Messgut lagert unterhalb der Bühne. Links sind die beiden Pumpen für die Rückforderung des Messgutes, rechts der Ventilator zum Absaugen von Gas-Luftgemischen sichtbar.

III) FAHRBARER PRÜFSTAND FÜR FLÜSSIGKEITEN (EICHKOLBEN 1000 LITER)

1) Beschreibung und Einrichtung

Für die Eichung von Zählern für Flüssigkeiten am Aufstellungsort wird ein fahrbarer Eichkolben als Gebrauchsnormalgerät eingesetzt. Der Kolben ist aus Reinaluminium (5 mm) geschweißt, faßt 1000 Liter und hat einen Durchmesser von 1500 mm. Der Innendurchmesser des Kolbenhalses beträgt 360 mm, so daß einem Liter = 0,1 % des Rauminhaltes ein Füllhöhenunterschied von 10 mm entspricht. Der Kolbenhals faßt bei einer Länge von 600 mm rund 60 l, die Schaugläser sind auf beiden Seiten des Halses aufgebracht. Die Skale am Schauglas überdeckt $\pm 20 \text{ l} = \pm 2 \%$ des Rauminhaltes. Überlaufmengen und Schaum können durch einen exentrisch angeordneten Ring auf dem Oberteil des Kolbens aufgefangen werden.

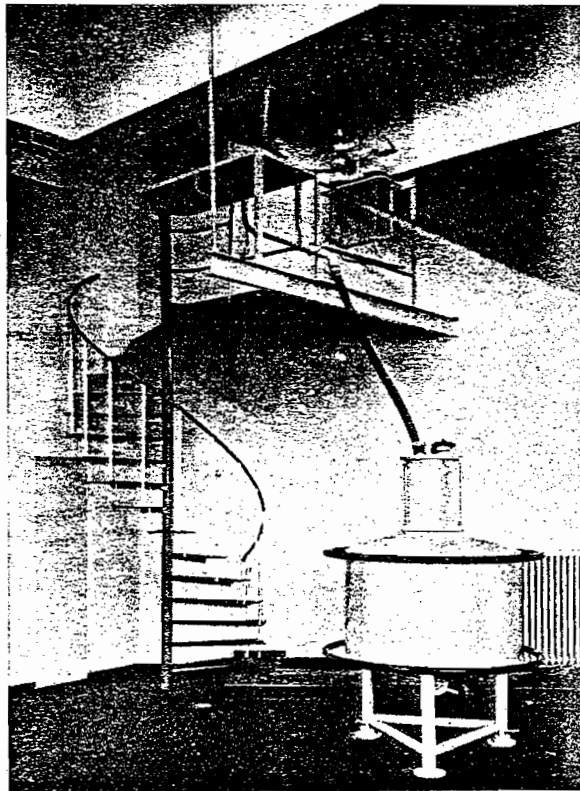


FIG. 14

Pipettiereinrichtung 5, 10, 50 und 100 Liter (Kontrollnormalgeräte) zur volumetrischen Ermittlung des Raumgehaltes von Eichkolben (Gebrauchsnormalgeräte) und Tankwagen. Die Geräte stehen erhöht auf einer Bühne, unten ein Eichkolben 1000 l.

Für die Prüfung kleiner Meßanlagen (z.B. Meßanlagen an Aufsetztanks) wird ein 100 l-Eichkolben zusätzlich auf dem Fahrzeug mitgeführt.

Zum Füllen und Entleeren des Kolbens dienen zwei Niederdruck-Kreiselpumpen, die von zwei Drehstrommotoren angetrieben werden und unabhängig voneinander arbeiten. Die Leistung der Füllpumpe beträgt 800 l/min, die der Leerpumpe 200 l/min, so daß das Gefäß in wenigen Minuten entleert werden kann. Im Rhorleitungssystem befinden sich die notwendigen Steuerorgane (Ventile), mehrere Schaugläser in beiden Leitungen vor und hinter den Pumpen, sowie eine Abtropfzunge zur Beobachtung der restlosen Entleerung des Kolbens und des Abtropfvorganges. Die Leerleitung trägt ein zusätzliches Rückschlagventil zwischen Schauglas und Pumpe. Das Fahrzeug führt mehrere Schläuche NW 50 und NW 80 bis 15 m Länge, mehrere Übergangsstücke zur Kombination verschiedener Schlauchanschlüsse Schaugläser, Kabel und umfangreiches Werkzeug mit sich, um allen Ansprüchen der Praxis zu genügen.

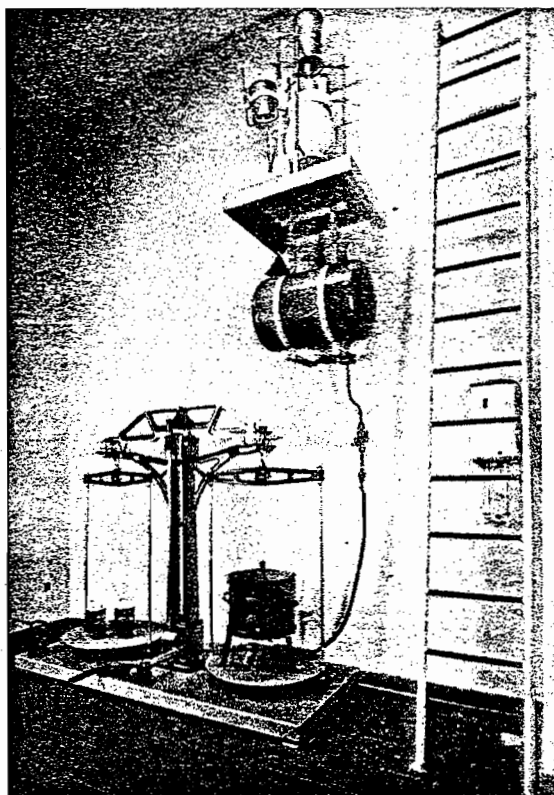


FIG. 15

Balkenwaage 200 kg zur Ermittlung des Raumhaltes von Eichkolben (Gebrauchs- und Kontrollnormalgeräte) durch Wägung der Wasserfüllung. Auf der Waagschale ein Pipettiergerät 50 l (vgl. Fig. 14). Über der Waage ist die Bühne mit dem Destilliergerät sichtbar.

2) Bedienung des Eichkolbens

- A) Die Füllung geschieht
- a) durch unmittelbaren Anschluß an das Füllrohr im Deckel des Kolbenhalses. Das Füllrohr NW 120 reicht bis 100 mm über Kolbenboden in den Kolben hinein.
 - b) oder über eine Rohrleitung NW 80 mit eingebauter Kreiselpumpe.
- B) Die Entleerung erfolgt
- c) unmittelbar durch freien Fall über eine Rohrleitung NW 50
 - d) oder über eine Kreiselpumpe.
- Zwischen c) und d) ist ein Dreiwegehahn eingeschaltet.
- C) Der Einsatz des Fahrzeuges erfolgt nach einem festen Plan in den verschiedenen Bezirken der angeschlossenen Eichämter. Es werden ausschließlich Meßanlagen mit Zählern für Mineralöl bis maximal 100 mm Anschlußweite und zwar sowohl ortsfeste Anlagen als auch Meßanlagen an Tankwagen und Flugfeldtankwagen geprüft.

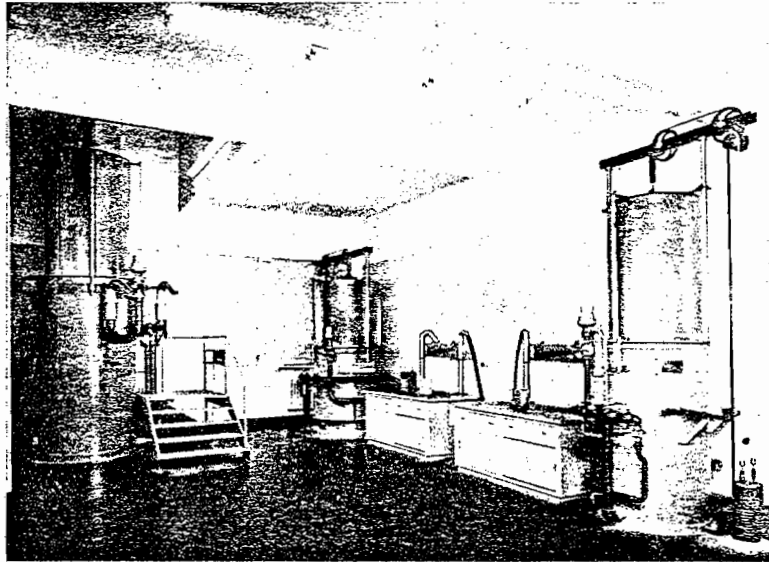


FIG. 9

Prüfraum für Gaszähler mit 3 Kubizierapparaten 600, 1000 und 2000 Liter (Gebrauchsnormalgeräte).

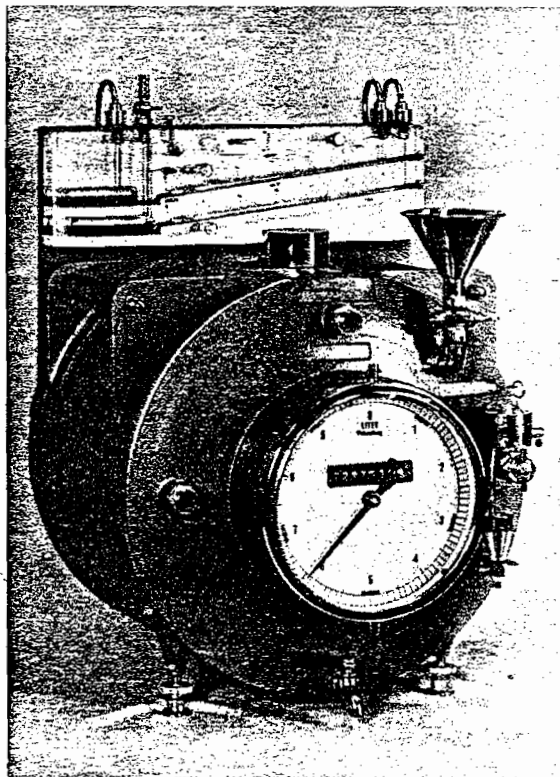


FIG. 10

Trommelgaszähler mit Ölfüllung für Messbereiche bis $15 \text{ m}^3/\text{h}$ als Gebrauchsnormalgerät für die Prüfung von Gaszählern

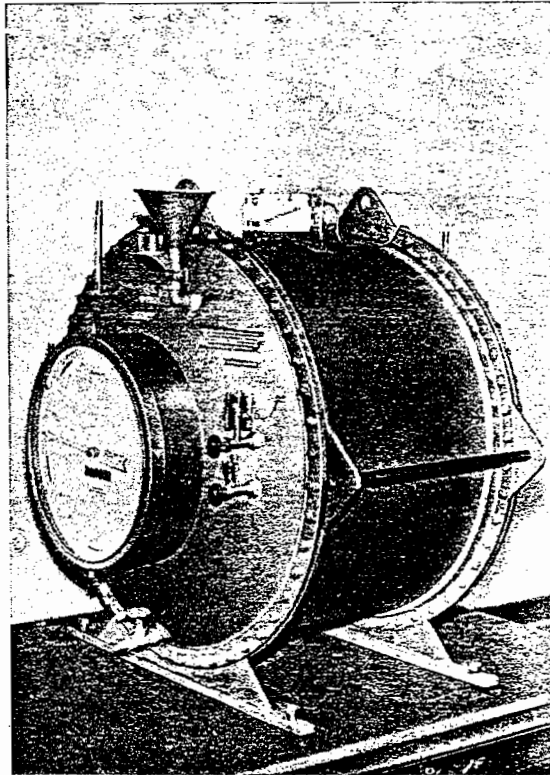


FIG. 11

Trommelgaszähler mit Öifüllung für den Messbereich 0,5/50 m³/h als Kontrollnormalgerät zur Prüfung von Gebrauchsnormalgeräten für Gas.

(IV) KONTROLL-NORMALGERÄTE ZUM PRÜFEN VON INDUSTRIE-GASZÄHLERN

Die Landeseichdirektion verfügt über einen « Meßsatz von Kontroll-Normalgeräten » (niveau 3) zum Prüfen von Gebrauchsnormalgeräten (niveau 4) für Gas bestehend aus :

- 1) Normal-Trommelgaszähler der Größe NB 50 mit einem Meßbereich zwischen 0,5 und 50 m³/h. Der Meßrauminhalt beträgt 200 l. Der Zähler ist von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig an 8 Belastungspunkten geprüft und Fehlerkurve sowie Druckverlustkurve ermittelt. Als Sperrflüssigkeit dient ein dünnflüssiges Mineralöl.

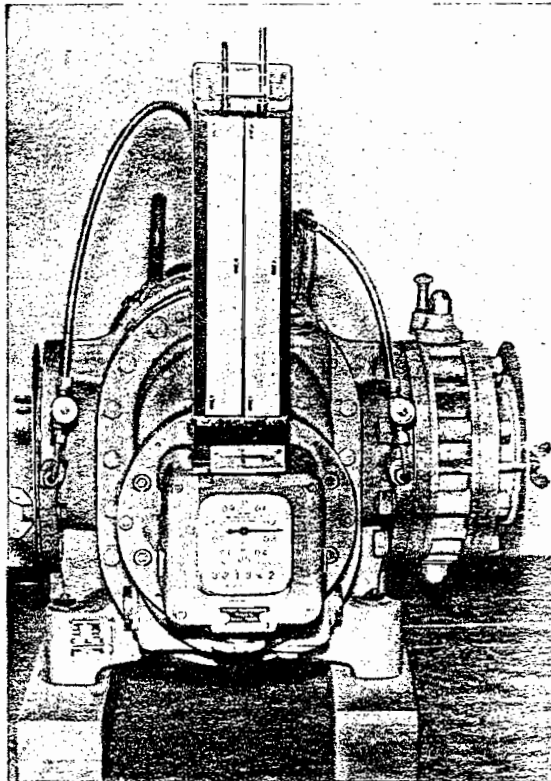


FIG. 12

Drehkolbengaszähler für Messbereich 50/500 m³/h als Kontrollnormalgerät zur Prüfung von Gebrauchsnormalgeräten für Gas.

- 2) Normal-Drehkolbenzähler der Größe NB 500 mit einem Meßbereich zwischen 50 und 500 m³/h. Der Meßrauminhalt beträgt 8 Liter. Der Zähler ist innerhalb des zulässigen Meßbereiches von der PTB an 7 verschiedenen Belastungspunkten geprüft worden, so daß die Fehler- und Druckverlustkurven bekannt sind.

Bei der Prüfung von Gebrauchsnormalgeräten wird der Druckverlust in der Meßstrecke zwischen Normal und Prüfling korrigiert. Das gleiche gilt für die Temperaturmessung. Bei dem Normal-Drehkolbenzähler gilt die maßgebende Temperatur des Mittel aus Ein- und Ausgangstemperatur, bei den Normal-Trommelzählern gilt als maßgebende Temperatur die Ausgangstemperatur.

Für die Druckkorrektur ist jeweils der Eingangsdruck maßgebend.

Um die Meßsicherheit bei der Ermittlung der Fehlerkurve des Prüflings zu erhöhen, wird beim Einsatz beider Normalgeräte die Messung bei der korrespondierenden Durchflußstärke 50 m³/h mit beiden Kontroll-Normalgeräten durchgeführt.

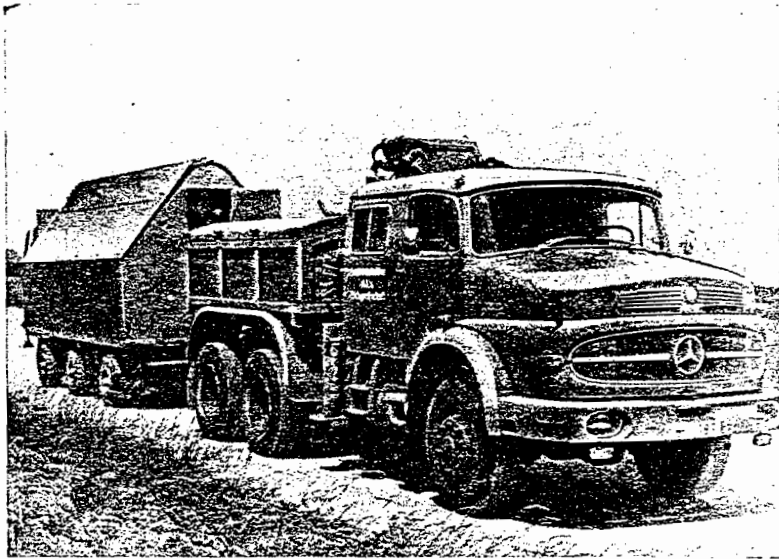


FIG. 6

Eichgerätschaft 42 t (52 t) zum Prüfen von Brückenwaagen für Kraftfahrzeuge im Strassenverkehr. Zugfahrzeug mit Allradantrieb, Nutzlast 20 Rollgewichte je 0,5 t. Anhänger (Eichfahrzeug) mit 16 Blockgewichten je 1 t und Ladefläche für zusätzliche Nutzlast am Aufstellungsort



FIG. 7

Zugfahrzeug 22 t mit ausgefahrenem Hebezeug und Rollgewicht 0,5 t.

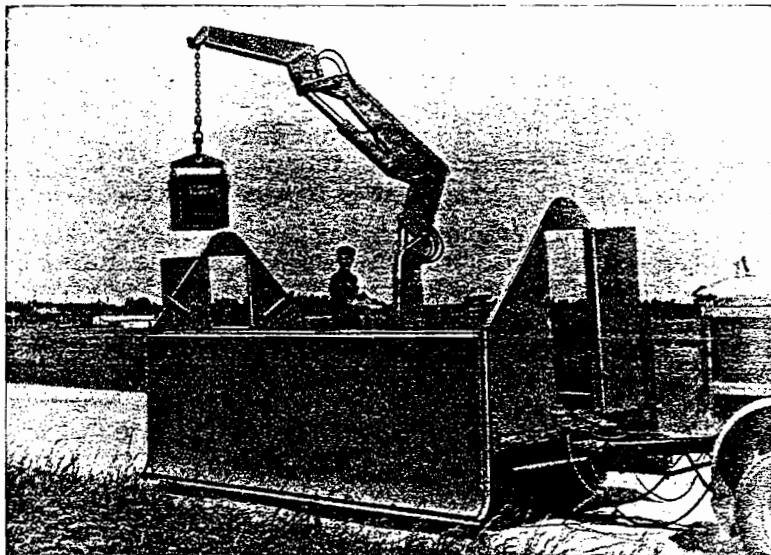


FIG. 8

Anhänger (Eichfahrzeug) 30 t mit 3 Achsen (2 Lenkachsen), 4 Spuren, Radstand 3,50 m, Hebezeug ausgefahren mit Blockgewicht 1 t.

(V) EICHGERÄTSCHAFT 42 t (52 t) ZUM PRÜFEN VON BRÜCKENWAAGEN

1) Beschreibung und Einrichtung

A) Zugfahrzeug

Die « Eichgerätschaft » besteht aus Zugfahrzeug und Anhänger (Eichfahrzeug) mit je 3 Achsen. Das Zugfahrzeug hat Allradantrieb und Geländegang für sehr langsame Fahrt; die erste und dritte Achse des Anhängers sind als Lenkachsen ausgebildet, so daß der Anhänger in die Spur des Zugfahrzeuges einläuft. Beide Fahrzeuge sind mit je einem hydraulischen Ladekran mit einer Tragfähigkeit von 1200 kg bei 4 m Armlänge ausgerüstet. Die Ölpumpe wird vom Fahrzeugmotor angetrieben. Zu diesem Zweck ist die Einspritzpumpe des Motors mit einem Handregler versehen, um die Betriebsumstellung des Dieselmotors für den Kranbetrieb herbeiführen zu können. Wegen der gemischten Betriebsweise (Fahrt 210 PS, Ölhydraulik 11 PS) ist ein besonderer Wartungszähler angebracht.

Der Kran im Eichfahrzeug wird ebenfalls von der Motorpumpe des Zugfahrzeuges über eine Schlauchleitung angetrieben. Beide Krane können auch mittels Elektromotor betrieben werden, um einem Betrieb in geschlossenen Räumen zu ermöglichen.

Wegen des zugelassenen Gesamtgewichtes beider Fahrzeuge von 42 t (Ausnahme 52 t) ist eine verstärkte Ausführung der Kupplung für den Anhänger vorgesehen. Das Zugfahrzeug verfügt über eine Umkleidekabine für Fahrer und Beifahrer, die Ladefläche beträgt 6,8 m², das Eigengewicht 12 t, die Nutzlast 10 t. Die Fahrgeschwindigkeit ist bei dem Zuggewicht von 42 t nicht begrenzt. Es gelten demnach die Bestimmungen für den Straßenverkehr. Bei höherer Belastung bis 52 t Zuggewicht ist Anmeldung beim Straßenverkehrsamt zwecks Angabe des Fahrweges erforderlich.

B) Eichfahrzeug (Anhänger)

Der Abstand der Achsen mit vier Spuren beträgt wegen der Notwendigkeit, eine möglichst hohe Last möglichst weit auf der Brücke der Waage verschieben zu können, je 1,75 m, insgesamt also 3,50 m (vgl. hierzu vom gleichen Verfasser: Justierung und Prüfung von ungleicharmigen Brückenwaagen, Amtsblatt 3 und 4/1957 der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt). Die Achslast ist je 10 t, das zulässige Gesamtgewicht 30 t.

Der hydraulische Ladekran befindet sich bei geschlossenem Fahrzeug unter Dach. Das Fahrzeug ist demnach so gebaut, daß Regen und Schnee auf eine glatte schräge Oberfläche fallen und die Masse des Fahrzeuges unwesentlich verändern. Trotzdem wird gegenwärtig nur die Nutzlast des Fahrzeuges als Normalmasse verwendet, während das Eigengewicht (9 t) des Fahrzeuges nicht als Normalmasse bestimmt und eingesetzt worden ist. Erst wenn ausreichende Erfahrungen vorliegen, sollen die Massebestimmung und gegebenenfalls der Einsatz des Eichfahrzeuges als Normalmasse erfolgen. Zur Zeit wird das leere Eichfahrzeug nur als « unbekannte Last » (Tara) verwendet.

An beiden Stirnseiten des Fahrzeuges befinden sich Eingangstüren. Zur Entladung der Blockgewichte zu je 1 t und der Rollgewichte zu je 500 kg wird das Dach mit Hilfe von Handwinde und eingebautem Kran geöffnet.

Die Ladefläche ist zur Sicherung der Belastungsnormale während der Fahrt auf der Straße in mehrere Fächer unterteilt. Es können 16 Blockgewichte zu je 1 t auf der Ladefläche aufgestellt werden. Für den Eichbetrieb werden zusätzlich Rollgewichte auf die freie Fläche verteilt oder auf die Blockgewichte mit Zwischenlage aufgesetzt, so daß für die Prüfung eine fahrbare Last von 30 t mit 3,50 m Achsstand zur Verfügung steht.

C) Normalgewichte

Als Normalmasse werden für die Eichgerätschaft Blockgewichte zu 1000 kg und Rollgewichte zu 500 kg verwendet. Die Blockgewichte messen $500 \times 500 \times 530 \text{ mm}^3$, die Rollgewichte haben einen Durchmesser von 480 mm und sind etwa 400 mm hoch. Alle Gewichte enthalten Justierhöhlen und werden laufend überwacht. Die Rollgewichte mit aufgesetztem Stahlring haben den Vorteil, daß sie am Einsatzort ohne Hebezeug leicht und schnell bewegt werden können. Größere Massen können erfahrungsgemäß von Hand nicht mehr gefahrlos hin und her geschoben werden.

2) Einsatz der Eichgerätschaft

A) *Beispiel*: Eichung einer Neigungswaage mit 2 Schaltstufen für eine Höchstlast von 30 t, einem Neigungsbereich von 10 t und eine Brückengröße von $3 \times 8 \text{ m}^2$.

Die Eichgerätschaft wird folgendermaßen beladen:

| | | | | |
|----------------|-----------------|------|---|-----------|
| Zugfahrzeug : | Eigengewicht | 12 t | } | zus. 22 t |
| | 20 Rollgewichte | 10 t | | |
| Eichfahrzeug : | Eigengewicht | 9 t | } | zus. 20 t |
| | 6 Blockgewichte | 6 t | | |
| | 10 Rollgewichte | 5 t | | |

Zuggewicht : 42 t,
davon Normalmasse 21 t.

Bei der « Vorprüfung » der Waage (vgl. Eichanweisung IX — Neufassung 1958 — § 23) werden die Ecken der Brücke (Stützschnitten) mit 5 t Rollgewichten geprüft und auftretende Mängel beseitigt. Die « Hauptprüfung » (§ 21 u. ff.) mit voller Last gliedert sich in zwei Staffeln : Belastung der Waage mit Rollgewichten 15 t (Staffel I), Abnahme der Rollgewichte, Aufbringen des Eichfahrzeuges als Ersatzlast (Tara) 15 t und weiteres Aufbringen von 15 t Rollgewichten (Staffel II), so daß die Höchstlast von 30 t mit zwei Staffeln erreicht ist.

Danach wird das Eichfahrzeug bei der « Zusatzprüfung » (Verschiebung) auf 29 t gebracht und um $\frac{8 - 3,5}{2} = 2,25$ m verschoben (nach Eichanweisung erforderlich zwei

Zehntel der Brückenlänge = 1,60 m). Die Eichung der Waage schließt mit der Prüfung auf Unveränderlichkeit durch mehrfaches Auffahren auf beide Seiten der Brücke mit dem Eichfahrzeug ab.

B) *Beispiel* : Eichung einer Neigungswaage mit 3 Schaltgewichten für eine Höchstlast von 40 t, einem Neigungsbereich von 10 t, mit der Brückenfläche 3×10 m².

Die Eichgerätschaft wird wie folgt beladen :

| | | |
|---------------------------|--------------------------------|-------|
| Zugfahrzeug : | Eigengewicht | 12 t |
| | 40 Rollgewichte (2 Fahrten) | 20 t |
| Eichfahrzeug : | Eigengewicht | 9 t |
| | 11 Blockgewichte (1 Fahrt) | 11 t |
| die Normalmasse beträgt : | | 31 t. |

Die Vorprüfung der Waage (Belastung der Stützschnitten mit Teillast) erfolgt wie im Beispiel A). Die Hauptprüfung mit voller Last gliedert sich in zwei Staffeln zu je 20 t. Bei der Staffel I werden 20 t Rollgewichte als Normalmasse Aufgebracht. Dann werden die Gewichte abgerollt, das teilweise beladene Eichfahrzeug als Ersatzlast (Tara) 20 t auf die Brücke gebracht und 20 t Rollgewichte hinzugesetzt, so daß die Waage mit der Höchstlast 40 t belastet ist. Zur Durchführung der Zusatzprüfung (Verschiebung) mit fahrbarer Last genügt es, das Eichfahrzeug (9 t) mit 21 t Normalmasse zu beladen und

die gesamte bewegliche Masse im Betrage von 30 t um $\frac{10 - 3,5}{2} = 3,25$ m zu verschieben.

Die Eichanweisung schreibt eine Verschiebung um zwei Zehntel der Brückenlänge = 2 m vor. Es können aber auch 5 t Rollgewichte an das Eichfahrzeug von jeder Seite herangerollt werden, um eine Verschiebung von 40 t um jeweils 2 m zur Brückenmitte zu erreichen. Nach der Instruktion VI A für Handelswaagen Nr. 22 f 3 (1930) dürfen drei Viertel der Last, nämlich das Eichfahrzeug (30 t) allein bis in die äußersten Stellungen der Brücke gebracht werden.

C) *Eichung von Waagen mit Höchstlasten von mehr als 40 t*

Bei einer dritten Fahrt des Zugfahrzeuges können weitere Block- und Rollgewichte vom nächstgelegenen Eichamt herangeschafft werden, die eine Prüfung von Waagen im Straßenverkehr zu 45, 50, 60 oder 80 t Höchstlast mit 2 oder 3 Staffeln ermöglichen. Bei der Verschiebepfung wird dann das Eichfahrzeug 30 t auf der Brücke in die äußersten Stellungen verschoben und zusätzlich weitere Normalmasse aufgebracht.

VI) PRÜFGERÄT FÜR RADLASTMESSER ZUR VERKEHRSÜBERWACHUNG

Zur Prüfung von Radlastmessern, die von der Polizei zur Ermittlung der Achsdrucke von Lastkraftwagen im Straßenverkehr eingesetzt werden, dient eine Schaltgewichtswaage 15 t mit Hebelgerät zur Erzeugung des Druckes auf die Brücke. Der Radlastmesser wird unter die Druckspindel auf die Brücke der Schaltgewichtswaage gesetzt und die Anzeige beider Meßgeräte (Prüfling und Normalgerät) miteinander verglichen

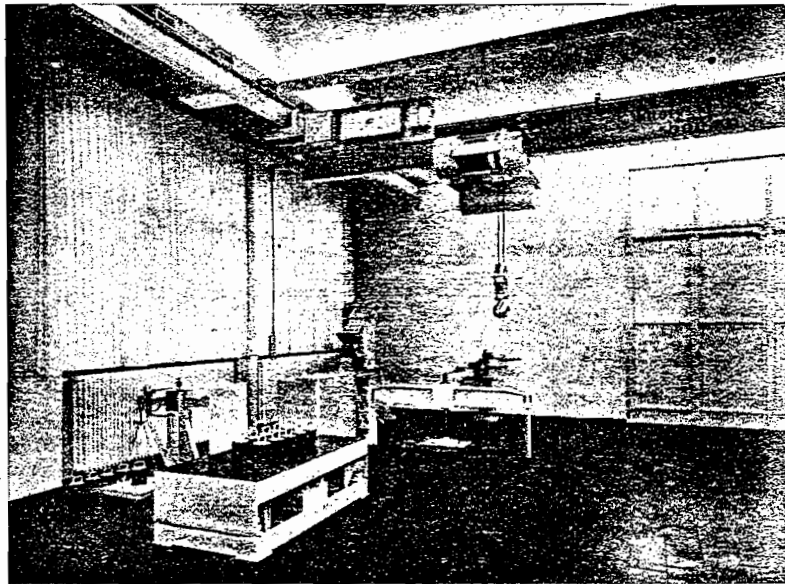


FIG. 13

Dezimalwaage 2000 kg (Kontrollnormalgerät) zur Prüfung von Gebrauchsnormalgeräten (Gewichte) und Schaltgewichtswaage 15 t mit Hebelgerät und Spindeltrieb zur Prüfung von Radlastmessern für Lastkraftfahrzeuge im Strassenverkehr.

VII) ZUSAMMENFASSUNG

Der eigentliche Anlaß zum Entwurf und zur Herstellung der beschriebenen Normalgeräte war die Notwendigkeit, Meßgeräte des öffentlichen Verkehrs — und zwar sowohl Handelsmeßgeräte wie auch Gebrauchsnormalgeräte — unter den vorgegebenen Bedingungen, zum Beispiel an beliebigen Orten außerhalb der Amtsstelle prüfen zu können. Mit fortschreitender Entwicklung der Meßtechnik haben sich einmal die Leistungen der Meßgeräte aller Art für Flüssigkeiten und Gase erhöht, gleichzeitig sind aber mit der Verfeinerung der Meßmethoden häufig auch die Ansprüche an die Genauigkeit der Normalgeräte gestiegen. In Deutschland verfügt das Eichamt über Gebrauchs- und

Kontrollnormalgeräte (niveau 4 und 3), die Landeseichdirektion über Hauptnormalgeräte (niveau 2) und die Physikalisch-Technische Bundesanstalt über die nationalen Urmaße und deren Abbildungen (niveau 1). Die « cascade d'étalons » schließt wie in allen Staaten der Internationalen Meterkonvention vom 20 Mai 1875 mit dem « Etalon-Niveau 0 (zéro) » im Bureau International des Poids et Mesures in Sèvres (BIPM).

Während der Hersteller eines Meßgerätes nicht immer verpflichtet werden kann, verbindliche Vorschläge für die Gestaltung und Funktion der Normalgeräte für die Eichung auszuarbeiten, obliegt es der Eichbehörde, die Prüfmittel und Normalgeräte auf Grund der Erfahrung bei ihrem Einsatz im Betrieb zu entwickeln und zu verbessern. Im Lande Nordrhein — Westfalen besteht seit einer Reihe von Jahren das Bedürfnis, Gebrauchsnormalgeräte für Industriegaszähler mit einem « Meßsatz von Kontrollnormalgeräten » des Leistungsbereiches von 0,5 bis 500 m³/h zu beglaubigen. Ebenfalls führt die Notwendigkeit, stationäre Meßanlagen und Meßanlagen an Tankwagen für Mineralöl auch außerhalb der Amtsstelle eichen zu können, vor einer Reihe von Jahren zu der Konstruktion einer Serie von fahrbaren Eichkolben. Die ständig steigenden Höchstlasten von Brückenwaagen im Straßenverkehr machen Überlegungen notwendig, zuverlässige Methoden der Prüfung zu entwickeln und zwar die « Staffeln » (Teillasten) bei der Hauptprüfung der Waage entweder zu beseitigen oder wenigstens ihre Zahl erheblich zu vermindern. Schließlich ist es unerläßlich, die wichtige Prüfung der Verschiebung der Last aus der Brückenmitte nach beiden Seiten hin auch bei kurzen Brücken zu ermöglichen. Das angestrebte Ziel, die Waage am Aufstellungsort mit voller Normallast zu prüfen, ist heute zunächst nur insoweit erreicht, als die Zahl der Staffeln bei Waagen bis 40 t Höchstlast auf 2 reduziert, aber die Verschiebepfung mit voller oder drei Viertel Last durchgeführt werden kann. Beim Einsatz der Eichgerätschaft hat sich als weiterer Vorteil eine wesentliche Verkürzung der Arbeitszeit sowohl für die Vorbereitung der Waage zur Eichung — Justierung des Meßgerätes — als auch für die Prüfung selbst herausgestellt. Der Einsatz von Hebezeugen auf dem Fahrzeug beschleunigt ebenfalls den Arbeitsvorgang und macht die Eichbehörde von unzureichend ausgebildeten Hilfspersonal für die mehrfache Hin- und Herbewegung der Massen auf der Brücke der Waage unabhängig.

Literatur :

- 1) Grundlagen des Mass- und Eichrechts von Dr. H. W. Quassowski, Deutscher Eichverlag GmbH, 1 Berlin 30, 1962.
- 2) Mass- und Eichwesen von Dr. A. Strecker, Carl Heymanns Verlag KG, 1963.
- 3) Eichordnung (EO) vom 14. April 1965, Deutscher Eichverlag GmbH, 1 Berlin 30
- 4) Eichenweisung, Allgemeine Vorschriften und Besondere Vorschriften, Deutscher Eichverlag, 1 Berlin 30
- 5) PTB-Mitteilungen, Amts- und Mitteilungsblatt der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig Berlin, Deutscher Eichverlag, 1 Berlin 30 (PTR — Amtsblatt seit 1886).
- 6) Bulletin de l'Organisation Internationale de Métrologie Légale, 11, Rue Turgot, Paris IX^e, seit 1960.
- 7) Bulletin Belge de Métrologie, Bruxelles 4.

Der Verfasser ist seinem Mitarbeiter, Herrn Eichoberamtmann F. Herbke, für manche Anregung bei dem Entwurf der Normalgeräte zu Dank verpflichtet.

INFORMATIONS

COMITÉ INTERNATIONAL DE MÉTROLOGIE LÉGALE

Huitième Réunion, Berne - Suisse, Septembre 1966

La Huitième réunion du Comité international de Métrologie légale a eu lieu à Berne, les 19-22 Septembre 1966, au nouveau Bureau Fédéral Suisse des Poids et Mesures.

34 États-membres de l'Organisation sur 35 étaient représentés et 55 délégués ont participé aux travaux.

L'Assemblée a délibéré sur les questions résumées ci-après.

1 — MISE EN APPLICATION DES RECOMMANDATIONS INTERNATIONALES DE LA CONFÉRENCE DE MÉTROLOGIE LÉGALE de VIENNE, 1962.

Ces Recommandations sont déjà assez largement mises en application dans les prescriptions légales d'un certain nombre d'États-membres et le Comité a demandé aux délégués des pays qui n'ont pas encore pu les prendre en considération de prévoir les dispositions nécessaires pour les appliquer.

A la suite de ces essais les prescriptions seront mises au point en conséquence et ratifiées définitivement par la prochaine Conférence.

2 — PROJET DE NOUVELLES PRESCRIPTIONS INTERNATIONALES.

Les Secrétariats-Rapporteurs ont été priés de préparer pour le courant de 1967 les textes relatifs aux instruments dont l'étude est déjà suffisamment avancée afin qu'ils soient présentés pour étude au Conseil de la Présidence et s'il y a lieu soumis à la ratification de la prochaine Conférence.

3 — COMITÉ DE RÉDACTION.

Un comité de rédaction comprenant les Personnalités suivantes :

M. ABBOTT (Royaume-Uni) — M. KÖNIG (Suisse) — M. OBALSKI (Pologne) — M. VIAUD (France) a été créé avec tâche de revoir les projets de Recommandations reçus par le Bureau avant leur diffusion aux États-membres et de mettre au point leur présentation et leur rédaction.

4 — SECRÉTARIATS-RAPPORTEURS.

a — Directives pour les Secrétariats :

le Comité a donné aux Secrétariats-rapporteurs des directives et des conseils généraux pour leur constitution, leur mode de travail et la présentation des prescriptions qu'ils auront élaborées.

b — Étude des instruments de mesure de base :

le Service de Métrologie de la Roumanie a accepté de faire une étude des documents disponibles en vue de l'élaboration des Recommandations internationales sur les instruments de mesurage simples (de longueur — masse — capacité) susceptibles d'être utiles aux pays en voie de développement.

c — Pays en voie de développement :

l'organisation examinera la possibilité de création d'un Comité d'étude spécial s'occupant de l'ensemble des questions métrologiques (législation et réglementation, installation des Services, équipement des Bureaux, formation des Agents) qui sont particulières aux Pays en voie de développement.

d — Modifications de Secrétariats :

un certain nombre de Secrétariats-rapporteurs ont été modifiés ou complétés en ce qui concerne leur domaine d'activité ou la construction de leur Groupe de travail.

e — Nouveaux sujets d'étude :

deux nouveaux Groupes de travail :

J.2 « Compteurs de vitesse mécaniques ou électromécaniques des véhicules automobiles (Suisse).

P.3 « Thermomètres électriques à résistance et couple » (U.R.S.S.)
ont été créés.

5 — RELATIONS AVEC LES INSTITUTIONS INTERNATIONALES CONNEXES

a — Organisation Internationale de Normalisation :

le Comité a approuvé l'Accord de liaisons et de collaboration entre l'Organisation Internationale de Métrologie légale et l'Organisation Internationale de Normalisation qui a été signé en juin dernier.

Il a étudié les détails de cette collaboration mutuelle.

b — Commission Électrotechnique Internationale :

le Comité a chargé son Président, ses Vice-Présidents et le Directeur du Bureau d'étudier les modalités d'un Accord de liaisons et de collaboration avec la Commission Électrotechnique Internationale et d'effectuer les demandes nécessaires à sa réalisation.

Les Membres du Comité devront envoyer au Bureau leurs suggestions détaillées sur cette collaboration mutuelle.

c — Bureau International des Poids et Mesures :

le Comité a examiné une demande du Bureau International des Poids et Mesures sur les besoins des Services de métrologie pour le contrôle des étalons nationaux secondaires.

Le Comité a suggéré que ces étalons secondaires soient vérifiés par les Pays-membres ayant des installations scientifiques hautement qualifiées, sans qu'il soit nécessaire de les diriger spécialement vers le Bureau International des Poids et Mesures.

6 — QUESTIONS FINANCIÈRES

a — Gestions financières :

Le Comité a approuvé les gestions financières des exercices révolus 1964 et 1965 et de l'exercice en cours 1966.

Il a adopté les projets de budget des exercices à venir 1967 et 1968.

b — Constitution d'un fonds de réserve :

Le Comité a étudié la possibilité de constituer un fonds de réserve pour permettre les dépenses imprévues obligatoires et pallier l'augmentation constante des prix en France en proposant le versement par chacun des États-membres d'un don d'environ une année de cotisation.

Cette étude sera communiquée aux Administrations compétentes qui devront décider de la constitution de ce fonds ou de l'indexation des cotisations annuelles sur les prix français.

c — Nouveau barème des cotisations :

Le Comité a étudié une nouvelle échelle des cotisations basée sur les coefficients attribués par les Nations-Unies aux différents États mondiaux.

Les Administrations financières compétentes devront décider de son application; dans l'affirmative ce barème pourrait alors être sanctionné par la prochaine Conférence.

7 — ÉLECTION DU VICE-PRÉSIDENT et ÉLARGISSEMENT DU CONSEIL DE LA PRÉSIDENTE.

a — Vice-Président :

M. le Professeur V.I. ERMAKOV, U.R.S.S., a été élu premier Vice-Président du Comité international de Métrologie légale.

b — Conseil de la Présidence :

Le Président a demandé l'aide dans le Conseil de la Présidence de MM. S. ABBOTT — V.B. MAINKAR — H. MOSER.

Le Conseil se trouve ainsi constitué :

MM. — J. STULLA-GÖTZ, Autriche — V.I. ERMAKOV, U.R.S.S. — H. KÖNIG, Suisse — S. ABBOTT, Royaume-Uni — P. HONTI, Hongrie — V.B. MAINKAR, Inde — H. MOSER, Rép.-Féd.-d'Allemagne — F. VIAUD, France —

à qui sont joints M. Z. OSTROWSKI, Pologne, en tant que représentant du pays où doit se tenir la prochaine Conférence de Métrologie légale et M. COSTAMAGNA, en tant que Directeur du Bureau.

8 — PROCHAINES RÉUNIONS.

a — Conseil de la Présidence :

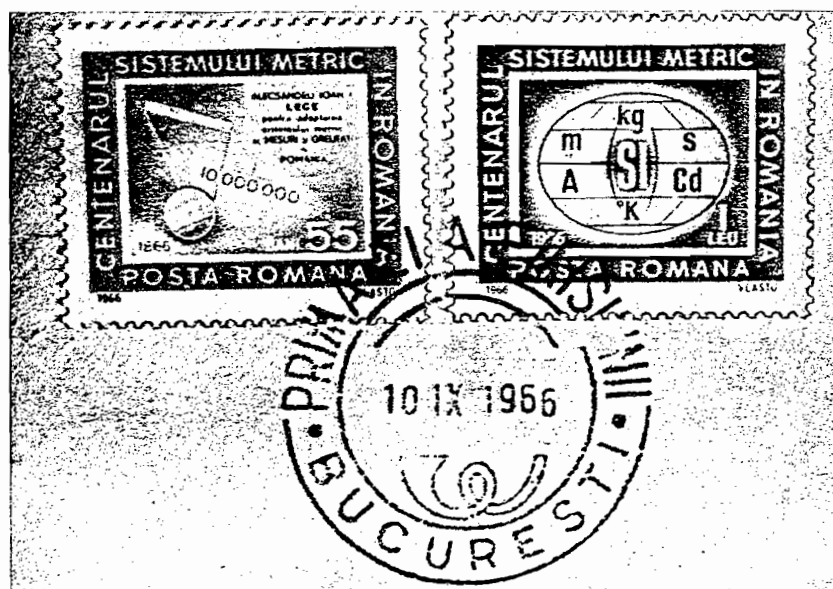
Le Conseil de la Présidence complété par les Membres des pays ayant en charge un ou plusieurs Secrétariats-rapporteurs se réunira en Octobre 1967 à Paris.

b — Conférence Internationale de Métrologie Légale :

sur la bienveillante invitation du Gouvernement Polonais, la Troisième Conférence internationale de Métrologie légale se réunira à Varsovie, en Septembre 1968.

ROUMANIE

CÉLÉBRATION du CENTENAIRE
de l'INTRODUCTION du SYSTÈME MÉTRIQUE
en ROUMANIE



La célébration du Centenaire de l'adoption en 1866 du Système Métrique par la Roumanie a eu lieu les 12, 13 et 14 Septembre dernier à Bucarest.

L'Organisation Internationale de Métrologie Légale a eu l'honneur d'être invitée à cette cérémonie organisée par la Direction Générale pour la Métrologie, les Normes et les Inventions et Mr E.W. ALLWRIGHT, Adjoint au Directeur du Bureau, a pris part aux travaux qui ont eu lieu à cette occasion.

De nombreux rapports scientifiques et techniques ont été débattus devant une très large assistance comprenant les représentants du Bureau International des Poids et Mesures et du Bureau International de Métrologie Légale, les délégués des Services de métrologie étrangers et les savants, professeurs, ingénieurs et techniciens du pays.

Une très intéressante exposition de l'histoire métrologique nationale et des plus récentes réalisations roumaines dans le domaine du mesurage a été vivement appréciée par tous les visiteurs.

Une adresse présentée de la part de Mr le Président de l'Organisation Internationale de Métrologie Légale rendit hommage à la largeur d'esprit de ceux qui, il y a un siècle, pressentaient déjà l'importance des mesures et ont soutenu l'introduction du Système Métrique dans leur pays.

Une médaille spéciale, très étudiée, a été frappée et des timbres-poste ont été émis pour commémorer ces cérémonies.

Le Bureau se permet de féliciter le Service de Métrologie Roumain et surtout Messieurs le Directeur Général C. TUZU, le Directeur Général Adjoint N. ILIOIU et notre Collègue Mr l'Ingénieur dr T. PENESCU pour la belle réussite de la célébration d'un événement encore rare dans le monde.



BIBLIOGRAPHIE

LES BALANCES ET LES POIDS

Une esquisse historique par le **Dr Bruno KISCH**

(Yale University Press — 70 Great Russell Str., Londres)

297 pages — 98 photographies

Cette importante étude de l'histoire du pesage et des instruments de pesage, des genres les plus anciennement connus, du Millénaire avant Jésus-Christ, jusqu'à l'ère moderne, est abondamment illustrée de photographies de balances et de poids accompagnés de leurs étuis, souvent artistiquement décorés, en provenance des collections les plus réputées du monde.

L'Auteur est le Conservateur de la collection de poids et mesures fondée par M. Edward C. STREETER à l'École de Médecine de l'Université de Yale.

Il y a deux méthodes distinctes, mais néanmoins interdépendantes, de présenter certains aspects de l'histoire humaine — soit par la collection, classification et évaluation des idées, soit par un traitement similaire des objets matérialisés. L'Auteur a choisi ce dernier procédé.

L'étude des poids et mesures eux-mêmes est justifiée, entre autres, par le fait que ces instruments représentent en même temps des idées. Malheureusement, malgré la prolifération des œuvres sur le mesurage, le pesage et les étalons, très peu d'attention a été donnée dans le passé à l'étude du développement historique des instruments de pesage et des poids et à leur collectionnement systématique.

Ainsi que l'Auteur le dit lui-même dans son œuvre, les considérations politiques ou commerciales nationales ont parfois amené des hommes d'État à rassembler les poids et les mesures utilisés par les pays étrangers, comme le firent le Roi Carlos IV d'Espagne en 1804 et Lord Castlereagh, Ministre des Affaires Étrangères de Grande-Bretagne en 1814, mais en général ces études ont été fort négligées.

On trouve dans ce livre un court mais toutefois très intéressant chapitre sur l'histoire et le développement du Système Métrique où l'auteur fait allusion au Rapport sur le Système présenté au Sénat des États-Unis il y a plus d'un siècle, par M. John Quincy Adams, Secrétaire d'État à cette époque. M. Adams a déclaré que le système s'approchait à la perfection idéale de l'uniformité appliquée aux poids et mesures.

Néanmoins, si l'on tient compte du conservatisme traditionnel des peuples anglo-saxons, on n'est pas surpris de lire plus loin que le Ministre a décidé que, pour des raisons pratiques, l'acceptation obligatoirement du système métrique aux États-Unis n'était pas opportune à cette époque.

Nous avons lu également avec plaisir le chapitre qui donne un aperçu de l'histoire du progrès de l'« exactitude » dans le pesage et celui qui explique, en termes très simples, les principes de construction des principaux genres d'instruments répandus dans le monde.

On se rend compte de l'étendue des recherches nécessaires pour que l'Auteur ait pu assembler, dans les tableaux reproduits dans cet ouvrage, les noms de la plupart des anciens, récents et actuels poids du monde entier avec leurs équivalences dans le Système Métrique.

Le Dr KISCH a traité d'une façon minutieuse la question de la fabrication des poids par les artisans placés sous la tutelle des anciennes corporations et il a examiné en détail les poinçons des Maîtres. Dans ce livre sont reproduits un grand nombre de ces poinçons, d'une grande variété de dessins, chacun donnant une indication sûre de l'origine du poids sur lequel il est apposé.

De telles œuvres sont malheureusement assez rares et il est à regretter qu'il ne semble pas que des études similaires aient été publiées sur les riches collections qui se trouvent à notre connaissance aujourd'hui dans les musées de l'Europe orientale et de l'Asie.

Les métrologistes collectionneurs, les antiquaires et tous ceux qui aiment les livres bien présentés et bien illustrés trouveront cette œuvre certainement à leur goût.

E.W. A.

LES CONTACTS INTERNATIONAUX DU SERVICE DES POIDS ET MESURES

L'un des critères de l'importance d'une institution métrologique est le fait qu'on en parle non seulement dans les publications scientifiques et techniques mais également dans la presse non spécialisée.

C'est pourquoi nous mentionnons particulièrement l'article intitulé « De internationale contacten van het IJkwezen », paru dans la revue « contact », organe de l'association du personnel du Ministère néerlandais des Affaires économiques, juin 1966, p. 4 à 6, 5 photos, sous les initiales J.J.K.

L'auteur rappelle d'abord qu'avant l'invention du Système métrique en France, à la fin du XVIII^e siècle, on ne pouvait pas citer le nom d'une unité de mesure en dehors de sa localité sans spécifier le nom de la région ou même de la localité où la mesure avait

lieu et encore ces unités changeaient-elles avec le temps en un même endroit. Il en résultait évidemment de nombreux et graves inconvénients, en plus des difficultés de calcul provenant de ce que les multiples et sous-multiples n'étaient pas formés suivant les règles de la numération en usage.

C'est pourquoi les fondateurs du Système métrique ont voulu créer un système non seulement décimal mais valable pour « tous les temps et tous les peuples ». Parmi les nations étrangères auxquelles ils firent appel pour œuvrer en commun, figurait la jeune République Batave, dont le principal représentant, J.H. van Swinden, joua un rôle particulièrement important.

Le Système métrique fut introduit de force en France et dans les pays où la France jouissait d'une certaine autorité mais, bientôt et même déjà sous l'Empire, on tendit partout à en revenir aux anciens errements, sous prétexte notamment de l'étymologie gréco-romaine des noms d'unités de mesure.

La chute de l'Empire (1814-1815) amena la création d'un « Royaume des Pays-Bas », libéré de toute domination française et groupant les pays formant actuellement le Bénélux, avec une certaine prépondérance néerlandaise.

C'est à juste titre que l'auteur fait remarquer qu'un des premiers actes du nouveau Royaume, accompli en toute liberté, fut de rétablir le Système métrique (loi du 21 août 1816) alors que le Parlement français ne réagit qu'en 1837, soit une vingtaine d'années plus tard, contre le relâchement qui s'était produit en matière d'unités de mesure, alors aussi qu'un pays libéré de la domination étrangère s'empresse souvent de rejeter les lois qui lui ont été imposées par l'occupant.

L'auteur passe sous silence un fait que nous considérons comme regrettable, c'est celui de l'adoption pour les unités métriques de noms tirés de l'ancienne nomenclature (ainsi par exemple le « mètre » s'appelait « aune des Pays-Bas »). Dès qu'elle fut indépendante, une quinzaine d'années plus tard, la Belgique en revint rapidement aux dénominations d'origine gréco-romaine, tout en gardant le reste de la loi du 21 août 1816.

Un bon système d'unités de mesure est en réalité une création permanente s'adaptant à l'évolution de la science et de la technique ; en outre, il doit reposer sur des étalons extrêmement stables et précis ; enfin, il doit être international. C'est pourquoi une Convention diplomatique de 1875 créa le Bureau international des Poids et Mesures, avec divers organismes pour le conseiller et le diriger.

Il y a toutefois lieu de constater que les opérations de pesage et de mesurage font appel non seulement à des unités de mesure mais aussi à des instruments et même à des appareils de plus en plus complexes. Les autorités nationales doivent imposer à ces instruments et appareils des conditions de forme, de composition, de sensibilité, d'exactitude, de bon fonctionnement, et s'assurer que ces conditions restent remplies après un certain temps d'usage. L'essentiel des conditions que doivent remplir ces instruments et appareils pose les mêmes problèmes dans tous les pays et une étude en commun est de plus en plus nécessaire au fur et à mesure que les constructions deviennent plus complexes. En outre, des différences de réglementation, même minimes, peuvent entraver fortement le commerce international des instruments et appareils de mesure et grever la fabrication de frais superflus.

C'est pourquoi une nouvelle Convention diplomatique (datant de fin 1955 et préparé depuis 1937) créa l'Organisation internationale de Métrologie légale, dont le siège est à Paris mais qui comprend de nombreuses commissions d'étude prises en charge dans les divers pays-membres.

L'auteur donne à ce sujet divers détails et reproduit plusieurs photographies prises lors de réunions internationales de métrologie légale.

La nécessité d'unifier la législation et la réglementation en matière de métrologie légale est particulièrement importante et urgente pour les pays qui resserrent leurs liens d'ordre économique. C'est le cas des pays du Bénélux et, sur une plus grande échelle, de ceux du « Marché Commun ». C'est pourquoi ces pays tiennent des réunions supplémentaires et vont même jusqu'à envisager l'adoption d'une loi unique et d'un poinçon unique.

Cela exige un travail intensif et long d'étude en commun et un large esprit de compréhension mutuelle auxquels le Service néerlandais des Poids et Mesures apportera son souci d'éviter des positions exceptionnelles.

M.J.

