

COMITÉ INTERNATIONAL

DES POIDS ET MESURES.

---

PROCÈS-VERBAUX

DES SÉANCES.

---

DEUXIÈME SÉRIE. — TOME VI.

---

SESSION DE 1911.



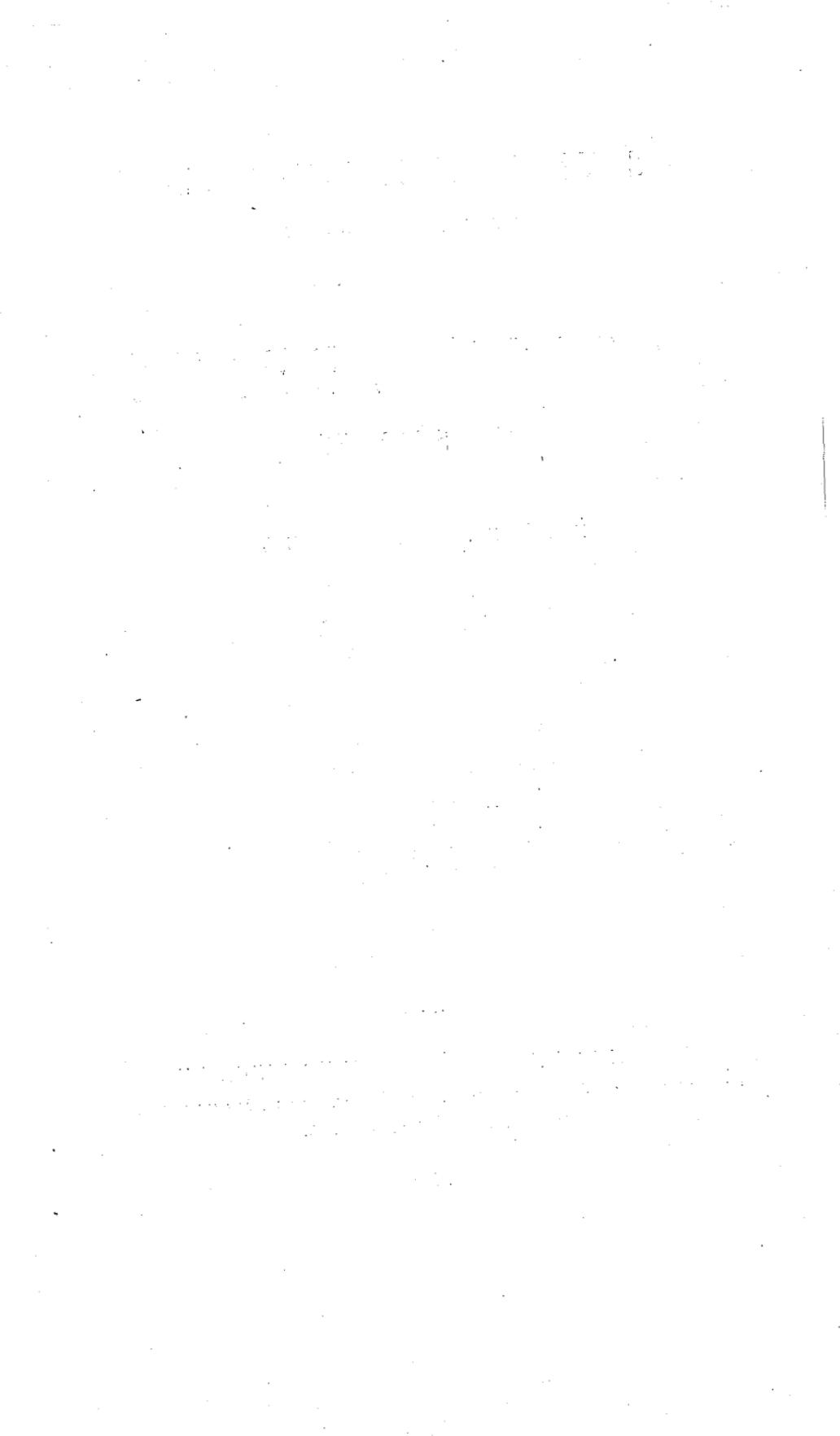
PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,  
Quai des Grands-Augustins, 55.

---

1911



---

# LISTE DES MEMBRES

DU

## COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

AU 1<sup>er</sup> MAI 1911.

---

### Président :

1. M. W. FOERSTER, Professeur à l'Université, 84, Kaiserdamm, *Berlin-Charlottenburg*.

### Secrétaire :

2. M. P. BLASERNA, Sénateur du royaume d'Italie, Président de l'Académie dei Lincei, Professeur à l'Université, via Panisperna 89<sup>b</sup>, *Rome*.

### Membres :

3. M. A. ARNDTSEN, Directeur général des Poids et Mesures, *Christiania*.
4. M. F. DE P. ARRILLAGA, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 26, Valverde, *Madrid*.
5. M. L. DE BODOLA, Conseiller aulique, Membre de l'Académie des Sciences, Professeur à l'École Polytechnique, 9, Horansky Utca, *Budapest*.
6. M. GASTON DARBOUX, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences de l'Institut de France, Palais de l'Institut, 3, rue Mazarine, *Paris*.
7. M. N. EGOROFF, Directeur de la Chambre centrale des Poids et Mesures de l'Empire russe, 19, Zabalkansky, *Saint-Petersbourg*.
8. M. R. GAÜTIER, Professeur à l'Université, Directeur de l'Observatoire. *Genève*.
9. Sir DAVID GILL, Membre de la Société royale de Londres, 34, De Vere Gardens, *Londres, W.*

10. M. K.-B. HASSELBERG, Membre de l'Académie des Sciences  
*Stockholm.*
11. M. ST.-C. HÉPITÉS, Directeur supérieur du Service central des  
Poids et Mesures, 43<sup>a</sup>, boulevard Coltei, *Bucarest.*
12. M. V. VON LANG, Membre de la Chambre des Seigneurs,  
Membre de l'Académie des Sciences, Professeur à l'Univer-  
sité, 3, Türkenstrasse, *Vienne.*
13. M. SAMUEL-W. STRATTON, Directeur du Bureau of Standards,  
*Washington.*
14. M. A. TANAKADATE, Professeur à l'Université impériale, *Tokyo.*
15. M. J.-RENÉ BENOÎT, Directeur du Bureau international des  
Poids et Mesures, *Sèvres.*

**Membres honoraires :**

1. M. DE MACEDO, ancien Ministre plénipotentiaire du Portugal,  
*Lisbonne.*
2. M. A.-A. MICHELSON, Professeur à l'Université, *Chicago.*



---

# LISTE DU PERSONNEL SCIENTIFIQUE

DU

## BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

AU 1<sup>er</sup> MAI 1911.

---

Directeur.....	M. J.-RENÉ BENOÎT.
Directeur-adjoint.....	M. CH.-ÉD. GUILLAUME.
Adjoints.....	{ M. A. PÉRARD. M. L. MAUDET.
Assistants.....	{ M. H. PERROTIN. M. V. VIARD.
Calculateur.....	M. R. SERMANTIN.

Membre honoraire du Bureau international :

M. P. CHAPPUIS, 34, Sevogelstrasse, à *Bâle*.

---



COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

---

## SESSION DE 1911.

---

### PROCÈS-VERBAL

DE LA PREMIÈRE SÉANCE,

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL,

Mercredi 29 mars 1911.

PRÉSIDENCE DE M. FOERSTER.

---

Sont présents :

MM. ARNDTSEN, D'ARRILLAGA, BENOÎT, BLASERNA, DE BODOLA, EGOROFF, FOERSTER, GAUTIER, GILL, HÉPITÈS, VON LANG, STRATTON.

M. GUILLAUME, invité, assiste à la séance.

La séance est ouverte à 1 heure.

M. le PRÉSIDENT, en ouvrant la séance, est heureux de pouvoir souhaiter la bienvenue à ses collègues. Il constate que la présence de 12 membres du Comité assure largement le *quorum* réglementaire, pour délibérer valablement. Il déclare donc ouverte la session de 1911.

M. le PRÉSIDENT regrette l'absence de M. Hasselberg, retenu dans son pays par de pénibles circonstances de famille, et de M. Tanakadate, qui n'a pas pu laisser ses nombreuses occupations pour entreprendre le long voyage du Japon en Europe. Il présente aussi les excuses de M. Darboux, empêché d'assister à la première séance.

M. le PRÉSIDENT donne ensuite la parole à M. BENOÎT, Directeur du Bureau international, pour la communication de son Rapport réglementaire.

M. BENOÎT donne lecture du Rapport suivant :

## RAPPORT SUR LES EXERCICES 1909-1910 ET 1910-1911.

---

Je vais passer rapidement en revue, comme de coutume, dans ce Rapport, les principaux faits qui ont marqué la gestion du Bureau international pendant les deux derniers exercices, rendre compte de sa situation actuelle et signaler les travaux les plus importants qui ont occupé son activité pendant cette période.

### I. — PERSONNEL.

Depuis la précédente Session du Comité, nous avons eu le regret de perdre la collaboration de notre Assistant, M. Tarrade, qui, pendant les sept années qu'il avait passées avec nous, avait fait preuve de sérieuses qualités de métrologiste, nous avait prêté un précieux concours, et qui nous a quittés pour rentrer dans l'industrie. A la suite de cette démission, qui a encore réduit un personnel déjà insuffisant, nous avons engagé, comme Aide et Calculateur, M. H. Perrotin, licencié ès sciences, qui, entré au commencement de 1909, se met peu à peu au courant de nos différents services et des travaux qu'ils comportent.

### II. — BATIMENTS.

La modicité des crédits dont nous disposons, et la cherté, sans cesse croissante, de la main-d'œuvre, nous obligent à ne faire pour l'entretien de nos bâtiments et dépendances que ce qui est considéré comme strictement indispensable. Aussi n'ai-je à indiquer comme réparation d'une certaine importance et valant la peine d'être signa-

lée, que la remise entièrement à neuf d'une partie (versant Nord et partie versant Ouest) de la toiture de l'ancien bâtiment des communs. Il y a deux ans, dans mon précédent Rapport, je notais une restauration semblable, exécutée dans la période précédente sur une autre partie de cette même toiture. Presque à chaque session, depuis bien des années, j'ai à parler de l'état fâcheux de l'ensemble des couvertures de nos bâtiments, qui, faites trop légèrement et sans doute trop économiquement à l'origine, se dégradent avec une extrême facilité, obligent à des réparations partielles à recommencer sans cesse, et finissent par atteindre un tel état de délabrement que ces réparations même deviennent inefficaces. Le seul remède est de refaire intégralement ces toitures, comme on les fait aujourd'hui, c'est-à-dire en fortes ardoises agrafées. Il faut s'attendre à ce que nous soyons obligés d'en arriver là pour toutes les nôtres. Cela pourra se faire successivement, par parties, en distribuant la dépense sur un certain nombre d'exercices. Ces opérations, malheureusement, sont coûteuses. Mais la dépense qui en résultera constituera finalement une économie bien entendue ; je puis dire, en effet, que depuis que nous avons pris cette mesure radicale pour la grande couverture de notre bâtiment d'observation, c'est-à-dire depuis cinq ans, il n'a plus été fait, sur cette couverture, pour un centime de réparation.

### III. — MACHINES ET INSTRUMENTS.

Les pièces destinées à la transformation projetée de notre grand comparateur pour les règles géodésiques en comparateur universel, permettant de mesurer des longueurs quelconques jusqu'à 5 mètres, nous ont été livrées par la Société Genevoise, que nous avons chargée de leur construction, peu de temps après la précédente session, et ont pu être mises sous les yeux du Président et du Secrétaire du Comité, pendant leur visite au Bureau au cours de l'année dernière. Elles consistent essentiellement en deux fortes poutres en fonte de fer, le long de chacune desquelles peuvent être déplacées à volonté deux équerres portant les microscopes. Une règle divisée, fixée à la poutre, permet de placer immédiatement, à très peu près, les microscopes dans les positions voulues pour une opération donnée; cette position est ensuite reclinée par une vis de réglage et fixée par des vis de serrage.

Par suite de différentes circonstances, cependant, la transformation du comparateur n'a pas encore été entreprise. Tout d'abord, avant de mettre en train une opération qui sera certainement de longue durée, nous avons dû conserver encore longtemps l'instrument tel qu'il était, pour procéder, soit à des études qui nous étaient demandées, et dont il sera rendu compte plus loin, soit à des déterminations qui nous étaient nécessaires à nous-mêmes. Une grève chez les ouvriers du bâtiment, survenue au cours de l'été dernier, puis la venue de la mauvaise saison et des courtes et sombres journées d'hiver nous ont obligés à renvoyer encore le commencement de ce travail, dont nous nous occuperons immédiatement après la session du Comité.

En attendant cette transformation radicale, nous avons introduit dans notre grand comparateur une amélioration importante, qui lui restera, en changeant les objectifs de ses sept microscopes, dont nous n'avions jamais été complètement satisfaits. La maison Lacour-Berthiot nous a construit de nouveaux objectifs, extrêmement soignés, qui, en conservant le même grossissement, donnent des images beaucoup meilleures, plus nettes et mieux définies. Ce changement a conduit à modifier un peu le dispositif éclaircur sur ces microscopes.

J'ai dit, dans mon précédent Rapport, que l'une des deux nouvelles règles de 4 mètres, à section en H, que nous avons commandées à la Société Genevoise, venait de nous être livrée. Depuis lors, elle a été étudiée, comme on le verra plus loin. C'est celle qui est en acier-nickel à 42 pour 100 de nickel. L'envoi de la seconde, en acier-nickel *invar* (36 pour 100), dont la construction a été retardée à Genève pour diverses causes, vient de nous être annoncée, et nous l'attendons incessamment.

Les types des étalons de longueur à bouts, en quartz, que nous avons commandés à M. Jobin, nous ont été livrés par lui au cours de l'année dernière. Ce sont des pièces d'une remarquable perfection, au point de vue de la planimétrie de leurs surfaces terminales, le seul auquel nous ayons pu les examiner jusqu'à présent. Ces étalons devront être déterminés par des méthodes interférentielles. J'ai monté pour cet objet, dans la Salle VI de notre observatoire, la seule où puissent être entreprises des expériences de ce genre, une installation, qui a déjà été utilisée pour une étude très détaillée

d'une petite lame de quartz, envoyée par la Normal-Eichungskommission de Berlin. Cette installation devra être complétée pour permettre l'application intégrale de la méthode de Macé de Lépinay, qui a été employée pour la détermination des cubes de quartz ayant servi au travail sur le décimètre cube d'eau, pour lequel j'ai prêté ma collaboration à MM. Macé de Lépinay et Buisson. Nous sommes, malheureusement, extrêmement gênés, pour le montage des dispositifs nécessaires pour des expériences de ce genre, par l'exiguité de la salle et le manque de place.

Pour rester dans le même ordre d'idées, il m'a paru utile de conserver au Bureau international le cube de quartz, de 5 centimètres d'arête, ayant servi dans le travail dont je viens de parler, pièce précieuse à la fois par la perfection de sa construction et par les études de haute précision qui ont été faites sur elles. M'étant assuré de l'approbation de notre Président à la proposition que je lui ai faite à ce sujet, j'ai donc acquis ce cube, ainsi que trois lames, de un ou deux centimètres d'épaisseur, également déterminées optiquement, et un prisme équilatéral, pris les uns et les autres sur le même morceau de quartz. Ces pièces constituent, comme les cubes de crown autrefois étudiés par M. Chappuis et construits de même par M. Jobin, des témoins de grande valeur, pouvant être utilisés ultérieurement et fournir au besoin d'importants contrôles.

Parmi les acquisitions de moindre importance, instruments de mesure de deuxième ordre ou appareils accessoires, dont il nous a paru utile d'enrichir notre laboratoire, je me bornerai à citer une série de micromètres pour longueurs à bouts, construits par la maison Brown et Sharpe, de Providence (U. S. A.), permettant de déterminer des longueurs jusqu'à 30 centimètres, avec une précision de quelques microns; une pompe à mercure, système Klein, fonctionnant automatiquement par l'action d'une trompe à eau; un assortiment de brûleurs Méker, etc. Nous avons aussi ajouté au matériel de notre atelier une petite machine à affûter les forets, une série de filières et tarauds de pas métriques, conformes au système de filetage international, et un petit four à gaz Méker, avec chaufferie, pour fondre au besoin de petites pièces en laiton.

Je mentionnerai enfin que, il y a quelques semaines, notre batterie d'accumulateurs a cessé subitement de nous donner du courant.

Une première recherche a fait découvrir immédiatement des ruptures dans les lames de connexion des éléments entre eux. Mais un examen plus approfondi, fait par un monteur de la Société des accumulateurs Fulmen, qui nous a fourni cette batterie, a montré que les lames positives étaient, pour la plus grande partie, usées jusqu'au cœur, que leurs éléments constitutifs rompaient sous de faibles efforts leur attache avec le cadre qui les supporte, et qu'une simple réparation — d'ailleurs très difficile à faire et exigeant une dépense de main-d'œuvre considérable — aboutirait tout au plus à prolonger le fonctionnement de la batterie peut-être pendant quelques mois. Dans ces conditions, il m'a paru préférable de se décider immédiatement à une restauration complète, par le remplacement par des plaques neuves de toutes les plaques positives de la batterie, les plaques négatives étant encore en parfait état. Ce travail a été exécuté au commencement de ce mois, et la dépense en sera inscrite sur l'exercice courant. J'ajoute qu'il n'y a nullement lieu de s'étonner de l'éventualité qui s'est produite. On peut dire que nos plaques ont vécu leur vie normale, qui ne peut être éternelle; et nous n'aurions aucune raison de nous plaindre d'une batterie qui nous a fait un excellent service pendant dix ans, sans aucun accident sérieux.

#### IV. — COMPTES.

Pour faire suite au Rapport présenté dans la précédente session, j'ai à rendre compte des deux exercices financiers de 1909 et de 1910. Je le ferai dans la forme habituelle, en passant successivement en revue les différents Comptes dans lesquels se subdivise la comptabilité du Bureau international.

##### I. — Frais d'établissement et d'amélioration du matériel scientifique.

D'après les *Procès-verbaux* de 1909 (p. 9 et 29), le

Compte I possédait, au commencement de l'exercice

de 1909, un actif disponible de..... fr  
44456,93

A reporter..... 44456,93

Report .....	44456,93 <sup>fr</sup>
Ce Compte n'a pas d'autres sources de recettes, sauf le cas exceptionnel de l'entrée d'un nouvel État dans la Convention du Mètre, que les produits des <i>taxes de vérifications</i> exécutées par le Bureau. Ces produits doivent, conformément à la règle prescrite et appliquée depuis plusieurs années, être partagés entre le Compte I et le Compte IV ( <i>Caisse de secours et de retraites</i> ), ce dernier devant recevoir 30 pour 100 des recettes perçues de ce chef, sans toutefois que la somme qui lui est versée puisse dépasser 1000 <sup>fr</sup> . Les <i>taxes de vérifications</i> ayant fourni, au cours de l'année 1909, une somme totale de 6345 <sup>fr</sup> , il y a donc à inscrire aux recettes du Compte I pour cet exercice..	5345,00
De même, pendant l'exercice de 1910, les recettes des <i>taxes de vérifications</i> ayant été de 4103 <sup>fr</sup> , 50, ont par conséquent, suivant la même règle, donné encore au Compte I.....	3103,50
Aucune dépense nouvelle n'ayant été inscrite sur ce Compte pendant ces deux exercices, il en résulte que l'actif disponible du Compte I, à la fin de 1910, est..	<u>52905,43</u>

## II. — Frais des étalons et témoins internationaux.

Le Compte II n'ayant eu à inscrire, dans cette dernière période, ni aucune recette, ni aucune dépense, se retrouve à la fin de l'exercice de 1910, dans la même situation, c'est-à-dire ( <i>Procès-verbaux</i> de 1909, p. 9 et 29) avec un actif disponible de.....	10436,85 <sup>fr</sup>
---	------------------------

## III. — Frais annuels

Au commencement de l'exercice de 1909, le Compte III possédait ( <i>Procès-verbaux</i> de 1909, p. 14 et 31), un actif disponible de.....	206019,09 <sup>fr</sup>
A reporter.....	206019,09

Report ..... fr  
206019,09

Pendant le courant de l'année 1909, les recettes de ce  
Compte ont été les suivantes :

1. Versements faits par les États :

Contributions réglemen- taires pour 1909 (1)....	fr 82623,00	
Contribution arriérée du Canada (pour 1908)....	1080,00	
Contribution pour 1910, versée par anticipation par l'Uruguay.....	500,00	
	<u>          </u>	fr 84203,00

2. Intérêts bonifiés :

Par la Caisse des Dépôts et Consignations.....	4950,80	
Par Sourmais et C <sup>ie</sup> , banquiers	<u>99,45</u>	
		fr 5050,25
		<u>89253,25</u>

Le total des actifs du Compte III s'est donc élevé,  
en 1909, à ..... 295272,34

Les dépenses de ce Compte, sur ce même exercice, sont données  
dans le Tableau ci-après :

(1) Cette somme représente les.....	fr 100000,00
de la contribution annuelle réglementaire, <i>moins</i> la contribution de la République Argentine, qui avait été versée par anticipation en 1908.....	fr 1133,00
<i>moins</i> la contribution des États-Unis, non versée.....	fr 15000,00
» la contribution de la Roumanie, non versée.....	<u>1244,00</u>
	fr <u>16244,00</u>
	fr 17377,00
Différence.....	<u><u>82623,00</u></u>

	Dépenses.
A. Personnel (Directeur, Directeur adjoint, Assistants, Mécanicien, Garçon de bureau, Personnel auxiliaire pour études thermométriques) .....	fr 46260,00
B. Indemnité du Secrétaire.....	6000,00
C. Frais généraux d'administration :	
Entretien des bâtiments, dépendances, mobilier. ....	6462,45
Machines, instruments, achats et entretien, frais d'atelier et de laboratoire.....	10308,70
Frais de chauffage et éclairage, gaz pour laboratoire et moteur.....	5062,65
Concession d'eau.....	94,35
Primes d'assurances.....	352,50
Bibliothèque .....	977,10
Frais d'impressions et publications.....	6079,98
Frais de bureau et de secrétariat.....	1997,80
Frais divers et imprévus.....	2961,90
Réserve.....	5000,00
	<u>91557,43</u>

Le total des actifs ayant donc été, en 1909, de.....	fr 295272,34
et le total des dépenses de.....	<u>91557,43</u>

il en résulte que le Compte III possédait, à la fin de cet exercice, un actif disponible de..... 203714,91

Pendant l'année 1910, les recettes du Compte III ont été les suivantes :

1. Versements faits par les États :

Contributions réglementaires pour 1910 (1)....	fr <u>98639,00</u>
A reporter.....	98639,00

---

(1) Cette somme représente les.....	fr 100000,00
de la contribution annuelle réglementaire,	
moins la contribution de l'Uruguay, qui avait été versée par anticipation en 1909.....	500,00
» la contribution du Pérou, qui n'a pas été versée.....	<u>861,00</u>
	<u>1361,00</u>
Différence.....	<u><u>98639,00</u></u>

Report.....	98639,00	fr
Contributions arriérées des États-Unis et de la Rou- manie (pour 1909) ren- trées.....	<u>16244,00</u>	fr
		114883,00
2. Fourniture d'étalons décimé- triques.....		200,00
3. Intérêts bonifiés :		
Par la Caisse des Dépôts et Consignations.....	5582,70	
Par Sourmais et C <sup>ie</sup> , ban- quiers.....	<u>88,80</u>	
		5671,50
		fr
		<u>120754,50</u>
Le total des actifs du Compte III s'est donc élevé, en 1910, à .....		<u><u>324469,41</u></u>

Les dépenses faites sur ce même Compte, pendant cet exercice, sont indiquées dans le Tableau suivant :

	Dépenses.
A. Personnel (Directeur, Directeur adjoint, Assistants, Mécanicien, Garçon de bureau, Personnel auxiliaire pour études thermométriques).....	fr 51240,00
B. Indemnité du Secrétaire.....	6000,00
C. Frais généraux d'administration :	
Entretien des bâtiments, dépendances, mobilier.....	6898,52
Machines, instruments, achats et entretien, frais d'atelier et de laboratoire.....	3971,15
Frais de chauffage et d'éclairage, gaz pour laboratoire et moteur.....	4032,85
Concession d'eau.....	191,95
Primes d'assurances.....	352,50
Bibliothèque.....	1237,63
Frais d'impressions et publications.....	40,30
Frais de bureau et de secrétariat.....	848,70
Frais divers et imprévus.....	3677,00
Réserve.....	5000,00
	<u><u>83490,60</u></u>

On peut remarquer que, dans ce dernier exercice, les dépenses sur le Chapitre des *Machines, instruments, etc.*, paraissent anormalement réduites. Cela tient principalement à ce que la transformation de notre Comparateur géodésique, précédemment décidée et pour laquelle les pièces nécessaires ont été construites, mais retardée pour des causes diverses, n'a pu encore être effectuée. Quant à l'absence à peu près complète de dépenses sous le titre *Impressions et publications*, elle est due à ce que celles qui sont déjà engagées pour la publication du Tome XV des *Travaux et Mémoires*, actuellement en cours d'impression, ne sont pas encore soldées.

Si, du total des actifs du Compte III, à la fin de 1910,	
précédemment indiqué.....	fr 324469,41
on déduit le total des dépenses du même exercice.....	83490,60
	<hr/>
on trouve que ce Compte possédait, à la fin de cet exercice, un actif disponible de.....	<u>240978,81</u>

#### IV. — Caisse de secours et de retraites.

La *Caisse de secours et de retraites* possédait au commencement de l'exercice de 1909 (*Procès-verbaux* de 1909, p. 15 et 33) :

1° Un capital, placé en rentes 3 %/o françaises, représentant 1542 <sup>fr</sup> de rente, et ayant coûté, avec commission, courtage et impôt.....	fr 51389,55	
2° Un solde en espèces, de.....	<u>1534,75</u>	
		fr 52924,30

Pendant l'exercice de 1909, la Caisse des retraites a reçu :

Retenues sur les traitements.....	876,20
Intérêts du capital placé.....	1560,75
Taxes de vérifications.....	1000,00
	<hr/>
	3436,95

Mais, par application, pour la première fois, de l'article 5 du Règlement de la Caisse des retraites (*Comptes rendus de la troisième Conférence générale des Poids et*

Mesures, p. 48), il a été remboursé à M. Tarrade, au moment où il a quitté le Bureau, une somme de.....

fr  
511,00

Reste.....

fr  
2925,95  
55850,25

D'autre part, il a été acheté, le 25 juin, 75<sup>fr</sup> de rente 3 0/0, ayant coûté, au cours du jour.....

2434,10

A la fin de 1909, la *Caisse des retraites* possédait donc 1617<sup>fr</sup> de rente, représentant, *au prix d'achat*, un capital de. 53823,65  
et un solde en espèces, en caisse, de..... 2026,60

Done, à la fin de l'exercice, un actif total de .....

55850,25

Pendant l'exercice de 1910, le Compte IV a reçu :

Retenues sur les traitements ..... 973,80  
Intérêts du capital placé ..... 1643,25  
Taxes de vérifications ..... 1000,00

3617,05  
59467,30

D'un autre côté, il a encore été acheté pour ce Compte, le 15 juillet 1910, 105<sup>fr</sup> de rente 3 0/0, qui ont coûté, au cours du jour.....

3426,00

La Caisse des retraites n'ayant eu à faire face à aucune obligation nouvelle, il en résulte que, à la fin de l'exercice de 1910, elle possédait 1722<sup>fr</sup> de rente, représentant, *au prix d'achat*, un capital de..... 57249,65  
et un solde en espèces de..... 2217,65

Soit un actif total de .....

59467,30

### V. — Fonds de réserve.

Le *Fonds de réserve* s'accroît chaque année des intérêts de son capital, placé en rentes françaises, et d'une somme reprise sur les excédents disponibles du Compte III, et qui a été fixée par le Comité, dans les derniers budgets, à 5000<sup>fr.</sup>

Au commencement de l'exercice de 1909, ce Compte possédait (*Procès-verbaux* de 1907, p. 16 et 33) un actif constitué par :

1° Un capital, placé en rentes 3 % françaises, représentant 914 <sup>fr</sup> de rente, et ayant coûté, avec commission, courtage et impôt....	29160,95	fr
2° Un solde en espèces, en caisse, de.....	5959,70	
	<hr/>	fr
		35120,65

Pendant cet exercice, le Compte V s'est augmenté de :

Intérêts du capital placé.....	1004,00	
Reçu du Compte III.....	5000,00	
	<hr/>	
		6004,00
		<hr/>
		41124,65

D'autre part, sur les fonds disponibles, on a acheté, le 6 avril, 180<sup>fr</sup> de rente 3 % ayant coûté, au cours du jour.....

5873,15

---

Ainsi, à la fin de 1909, le Fonds de réserve possédait 1094<sup>fr</sup> de rente, représentant, au prix d'achat, un capital de.....

35034,10

et un solde en espèces, en caisse, de.....

6090,55

---

41124,65

Pendant l'exercice suivant, le Fonds de réserve a encore reçu :

Intérêts du capital placé.....	1230,50	
Reçu du Compte III.....	5000,00	
	<hr/>	
		6230,50
		<hr/>
		47355,15

D'un autre côté, il a été acheté pour ce  
Compte, le 8 février 1910, 182<sup>fr</sup> de rente,  
ayant coûté, au cours du jour..... fr  
6008,10

Il en résulte que, à la fin de l'exercice  
de 1910, le Fonds de réserve possédait  
1276<sup>fr</sup> de rente, représentant, *au prix*  
*d'achat*, un capital de..... fr  
41042,20

et un solde en espèces, en caisse, de..... 6312,95

Soit, au total..... 47355,15

Les actifs des Comptes IV et V seraient, en cas de besoin, entièrement disponibles. Toutefois il importe de remarquer, encore une fois, pour l'un comme pour l'autre, que, la presque totalité de ces actifs étant représentée par des titres dont la valeur est sans cesse variable, suivant leur cours sur le marché, l'avoir *réel* de la *Caisse des retraites* et du *Fonds de réserve*, à un moment donné, ne peut jamais être indiqué par les chiffres ci-dessus que d'une *façon approximative*.

En mettant à part les deux Comptes IV et V, dont les fonds sont ainsi séparés, la vérification générale de la Comptabilité du Bureau résultera de l'égalité entre la somme des actifs disponibles indiqués pour les trois Comptes I, II et III ci-dessus, et la somme des soldes restant effectivement, au même moment, dans nos trois comptes à la Caisse des Dépôts et Consignations, chez nos banquiers MM. Sourmais et C<sup>ie</sup>, et dans la Caisse du Bureau.

Or, en récapitulant les résultats, donnés plus haut, pour la situation financière à la fin de l'année 1910, nous trouvons les actifs disponibles suivants :

Compte I.....	fr 52905,43
» II.....	10436,85
» III.....	<u>240978,81</u>
Total.....	304321,09

D'un autre côté, d'après les relevés officiels qui nous sont fournis, à la fin de l'exercice, par la Caisse des Dépôts et Consignations, et

par MM. Sourmais et C<sup>ie</sup>, et d'après nos livres de comptabilité, nous avons au 31 décembre 1910 :

Solde à la Caisse des Dépôts et Consignations.	285209,60	fr
» chez MM. Sourmais et C <sup>ie</sup> .....	1570,35	
» dans la Caisse du Bureau.....	17541,14	
Total égal.....	304321,09	

Je compléterai ce Compte rendu en y ajoutant, comme d'habitude, les Tableaux des versements qui ont été faits par les États pendant les deux exercices 1909 et 1910.

VERSEMENTS FAITS AU COMPTE DU BUREAU INTERNATIONAL EN 1909.

		Contributions		
		arriérées.	p. 1909.	anticipées.
			fr	
Janv.	2	Uruguay.....	500	
Fév.	6	Suède.....	1008	
»	11	Italie.....	6316	
»	16	Norvège.....	500	
»	16	Suisse.....	628	
»	18	France et Algérie.....	8243	
Mars	25	Allemagne.....	11454	
»	25	Canada (pour 1908).....	1080	fr
»	25	Danemark.....	500	
»	25	Mexique.....	2570	
Avril	9	Chili.....	642	
»	9	Japon.....	9804	
Mai	22	Espagne.....	3696	
»	22	Hongrie.....	3637	
Juin	16	Pérou.....	861	
Juillet	3	Autriche.....	4939	
»	6	Russie.....	15000	
Août	11	Grande-Bretagne et Irlande	8344	
Oct.	29	Portugal.....	1024	
Nov.	26	Serbie.....	517	
Déc.	4	Belgique.....	1367	
»	16	Canada.....	1073	
»	24	Uruguay (pour 1910).....		500
		1080	82623	500
		84203		

VERSEMENTS FAITS AU COMPTE DU BUREAU INTERNATIONAL EN 1910.

		Contributions	
		arriérées.	pour 1910.
			fr
Janv.	7	République Argentine.....	1133
Fév.	2	Danemark.....	500
»	2	États-Unis d'Amérique (pour 1909).....	15000
»	2	Roumanie (pour 1909)....	1244
»	3	Italie.....	6316
»	21	France et Algérie.....	8243
»	28	Autriche.....	4939
»	28	Mexique.....	2570
»	28	Norvège.....	500
»	28	Suisse.....	628
Mars	24	Allemagne.....	11454
»	24	Suède.....	1008
Avril	8	Portugal.....	1024
»	24	Chili.....	642
»	25	Espagne.....	3696
»	25	Hongrie.....	3637
»	27	Russie.....	15000
Mai	3	Roumanie.....	1244
»	14	Japon.....	9804
»	25	États-Unis d'Amérique....	15000
Juin	12	Canada.....	1073
Juill.	19	Grande-Bretagne et Irlande.	8344
Oct.	21	Belgique.....	1367
Nov.	22	Serbie.....	517
		<hr/>	
		16244	98639
		<hr/>	
		114883	

A la fin de l'année 1910, un seul État, le Pérou, n'avait pas versé sa cotisation réglementaire pour cet exercice.

VERSEMENTS FAITS AU COMPTE DU BUREAU INTERNATIONAL EN 1911  
(jusqu'au 29 mars) (1).

Janvier	26	Danemark.....	500 <sup>fr</sup>
»	26	Norvège.....	500
»	26	Suède.....	1008
»	27	Uruguay.....	500
Février	6	Italie.....	6316
Mars	3	République Argentine.....	1133
»	9	Allemagne.....	11454
»	9	Chili.....	642
»	9	Suisse.....	628
»	14	Japon.....	9804
»	22	Russie.....	15000
»	23	Mexique.....	2570
			<u>50055</u>

---

(1) Pendant la session du Comité, est rentrée (le 7 avril) la contribution du Portugal..... 1024<sup>fr</sup>

La contribution de l'Espagne a été annoncée, mais n'est pas encore rentrée.

---

**COMPTES DE 1909 ET 1910.**

## COMPTES DE 1909.

### RECETTES.

#### I. — Frais d'établissement et d'amélioration du matériel scientifique.

Actifs au commencement de l'année 1909 :	
Actifs disponibles.....	fr 44456,93
Recettes des taxes de vérifications.....	5345,00
	<hr/>
Balance.....	49801,93
	<hr/>

## COMPTES DE 1909.

### RECETTES.

#### II. — Frais des étalons et témoins internationaux.

Actifs au commencement de l'année 1909 :	
Actifs disponibles.....	fr 10436,85
	<hr/>
Balance.....	10436,85
	<hr/>

## COMPTES DE 1909.

### DÉPENSES.

#### I. — Frais d'établissement et d'amélioration du matériel scientifique.

Solde des actifs à la fin de l'année 1909 :  
Actifs disponibles..... fr 49801,93

Balance..... 49801,93

## COMPTES DE 1909.

### DÉPENSES.

#### II. — Frais des étalons et témoins internationaux.

Solde des actifs à la fin de l'année 1909 :  
Actifs disponibles..... fr 10436,85

Balance..... 10436,85



## COMPTES DE 1909.

### DÉPENSES.

#### III. — Frais annuels.

A. — <i>Personnel</i> (Directeur, Directeur-adjoint, Assistants, Mécanicien, Garçon de bureau, Personnel auxiliaire)...	fr 46260,00
B. — <i>Indemnité du Secrétaire</i> .....	6000,00
C. — <i>Frais généraux d'administration</i> :	
Entretien des bâtiments, dépendances, mobilier, etc..	fr 6462,45
Machines, appareils, achats et entretien, frais d'atelier et de laboratoire.....	10308,70
Frais de chauffage et éclairage, gaz pour labora- toire et moteur.....	5062,65
Concession d'eau .....	94,35
Primes d'assurances.....	352,50
Bibliothèque.....	977,10
Frais d'impressions et publications .....	6079,98
Frais de bureau et de secrétariat .....	1997,80
Frais divers et imprévus.....	2961,90
	<u>34297,43</u>
	fr 86557,43
Versé au Compte V .....	5000,00
Inscription de la contribution, versée par anticipation, de la République Argentine.....	1133,00
Solde des actifs à la fin de l'année 1909 :	
Arriérés de contributions pour 1909 non ren- trés : Etats-Unis d'Amérique.....	15000,00
Roumanie.....	1244,00
	<u>16244,00</u>
Actifs disponibles .....	203714,91
	<u>219958,91</u>
Balance.....	<u>312649,34</u>

## COMPTES DE 1909.

### RECETTES.

#### IV. — Caisse de secours et de retraites.

Actifs au commencement de l'année 1909 :		
Capital placé en rentes françaises (prix d'achat).....	fr 51389,55	
Solde en espèces, en caisse .....	1534,75	
		<u>fr 52924,30</u>
Retenues sur les traitements .....	876,20	
Intérêts du capital placé .....	1560,75	
Taxes de vérifications.....	1000,00	
		<u>3436,95</u>
Balance.....		<u>56361,25</u>

## COMPTES DE 1909.

### RECETTES.

#### V. — Fonds de réserve.

Actifs au commencement de l'année 1909 :		
Capital placé en rentes françaises (prix d'achat).....	fr 29160,95	
Solde en espèces, en caisse.....	5959,70	
		<u>fr 35120,65</u>
Intérêts du capital placé.....	1004,00	
Reçu du Compte III.....	5000,00	
		<u>6004,00</u>
Balance.....		<u>41124,65</u>

## COMPTES DE 1909.

### DÉPENSES.

#### IV. — Caisse de secours et de retraites.

Remboursement à M. Tarrade.....		fr 511,00
Solde des actifs à la fin de l'année 1909 :		
Capital placé en rentes françaises (prix d'achat).....	fr 53823,65	
Solde en espèces, en caisse.....	2026,60	
		<u>55850,25</u>
	Balance.....	<u>56361,25</u>

## COMPTES DE 1909.

### DÉPENSES.

#### V. — Fonds de réserve.

Solde des actifs à la fin de l'année 1909 :		
Capital placé en rentes françaises (prix d'achat).....	fr 35034,10	
Solde en espèces, en caisse.....	6090,55	
		<u>41124,65</u>
	Balance.....	<u>41124,65</u>

## COMPTES DE 1910.

### RECETTES.

#### I. — Frais d'établissement et d'amélioration du matériel scientifique.

Actifs au commencement de l'année 1910 :	
Actifs disponibles.....	fr 49801,93
Recettes des taxes de vérifications.....	3103,50
Balance.....	<u>52905,43</u>

## COMPTES DE 1910.

### RECETTES.

#### II. — Frais des étalons et témoins internationaux.

Actifs au commencement de l'année 1910 :	
Actifs disponibles.....	fr <u>10436,85</u>
Balance.....	<u>10436,85</u>



## COMPTES DE 1910.

### RECETTES.

#### III. — Frais annuels.

Actifs au commencement de l'année 1910 :		
Arriérés de contributions pour 1909 non rentrées.....	fr 16244,00	
Actifs disponibles.....	<u>203714,91</u>	
		fr 219958,91
Contributions réglementaires pour 1910.....	100000,00	
Fourniture d'étalons décimétriques.....	200,00	
Intérêts bonifiés.....	<u>5671,50</u>	
		<u>105871,50</u>
Balance.....		<u>325830,41</u>

## COMPTES DE 1910.

### DÉPENSES.

#### III. — Frais annuels.

A. — <i>Personnel</i> (Directeur, Directeur-adjoint, Assistants, Mécanicien, Garçon de bureau, personnel auxiliaire)...	fr 51240,00	
B. — <i>Indemnité du Secrétaire</i> .....	6000,00	
C. — <i>Frais généraux d'administration</i> :		
Entretien des bâtiments, dépendances, mobilier....	fr 6898,52	
Machines, appareils, achats et entretien, frais d'atelier et de laboratoire .....	3971,15	
Frais de chauffage et éclairage, gaz pour labora- toire et moteur.....	4032,85	
Concession d'eau.....	191,95	
Primes d'assurances .....	352,50	
Bibliothèque.....	1237,63	
Frais d'impressions et publications.....	40,30	
Frais de bureau et de secrétariat.....	848,70	
Frais divers et imprévus.....	<u>3677,00</u>	
	21250,60	
		fr
Versé au Compte V.....		78490,60
Inscription de la contribution, versée par anticipation, de l'Uruguay.....		5000,00
		500,00
 Solde des actifs à la fin de l'année 1910 :		
Arriérés de contributions pour 1910 non rentrées : Pérou...	861,00	
Actifs disponibles.....	<u>240978,81</u>	
		<u>241839,81</u>
 Balance.....		<u>325830,41</u>

## COMPTES DE 1910.

### RECETTES.

#### IV. — Caisse de secours et de retraites.

Actifs au commencement de l'année 1910 :		
Capital placé en rentes françaises (prix d'achat).....	53823,65	<sup>fr</sup>
Solde en espèces, en caisse.....	2026,60	
	<hr/>	55850,25 <sup>fr</sup>
Retenues sur les traitements ...	973,80	
Intérêts du Capital placé.....	1643,25	
Taxes de vérifications.....	1000,00	
	<hr/>	3617,05
	Balance.....	<hr/> 59467,30

## COMPTES DE 1910.

### RECETTES.

#### V. — Fonds de réserve.

Actifs au commencement de l'année 1910 :		
Capital placé en rentes françaises (prix d'achat) .....	35034,10	
Solde en espèces, en caisse.....	6090,55	
	<hr/>	41124,65
Intérêts du Capital placé.....	1230,50	
Reçu du Compte III.....	5000,00	
	<hr/>	6230,50
	Balance.....	<hr/> 47355,15

## COMPTES DE 1910.

### DÉPENSES.

#### IV. — Caisse de secours et de retraites.

Solde des actifs à la fin de l'année 1910 :

Capital placé en rentes françaises (prix d'achat).....	57249,65	fr
Solde en espèces, en caisse.....	<u>2217,65</u>	
		<u>59467,30</u>

Balance..... 59467,30

## COMPTES DE 1910.

### DÉPENSES.

#### V. — Fonds de réserve.

Solde des actifs à la fin de l'année 1910 :

Capital placé en rentes françaises (prix d'achat).....	41042,20
Solde en espèces, en caisse.....	<u>6312,95</u>
	<u>47355,15</u>

Balance..... 47355,15

## V. — TRAVAUX.

J'avais indiqué, dans mon précédent Rapport, comme l'un des éléments caractéristiques de l'activité actuelle du Bureau, l'accroissement graduel des demandes d'études, qui nous sont adressées par des Gouvernements, par des établissements scientifiques ou par des particuliers, et se rapportent aux instruments les plus divers dont nous puissions nous occuper. Dans la dernière période bisannuelle,

INSTRUMENTS ÉTUDIÉS DU 1<sup>er</sup> JANVIER 1890 AU 31 DÉCEMBRE 1910.

ANNÉES.	RÈGLES					FILS, RUBANS.	MASSES.	THERMOMÈTRES.	TOTAUX.
	courtes, déclimétriques, etc.	métriques.	géodésiques.	à bords.	diverses, dilatations.				
1890..					2			35	37
1891..			2		6		1	13	22
1892..			3					13	16
1893..		4		1	1		2	10	18
1894..							36	38	74
1895..								15	15
1896..	2	6		2	3		3	8	24
1897..		3		9				18	30
1898..	2	1		11	4		58	22	98
1899..	1	3					7	9	20
1900..	2			10	1		2	35	50
1901..	46	2			3		5	4	60
1902..	5	7		43	7	12	7	28	109
1903..	4	3	2	5		11	8	22	55
1904..	2	9	3	5	3	30	29	16	94
1905..	3	2		4	1	43	1	17	71
1906..	1	3		2	3	85	2	12	108
1907..		9	2	4	5	77		11	109
1908..	4	15		3	2	115	9	8	157
1909..	4	2	8	49	6	78	7	34	188
1910..	1	2	3	80	7	52	9	56	210

cette marche ascendante des demandes auxquelles nous avons pu satisfaire s'est encore accentuée, comme le montre le Tableau ci-contre, résumant les déterminations effectuées depuis l'époque où, la première série d'étude des étalons prototypes étant achevée, le Bureau a été naturellement amené à faire une plus large place aux instruments ou étalons d'importance moins fondamentale.

Le relevé, terminant ce Rapport, des certificats délivrés dans les deux années écoulées, fera connaître les déterminations effectuées depuis la dernière session du Comité; la plupart d'entre elles ne présentent qu'un intérêt restreint; quelques-unes, en revanche, méritent une mention spéciale; nous allons en faire une rapide revue.

La loi fixant, dans tout l'Empire chinois, la valeur des unités de longueur, de masse et de capacité par leurs rapports numériques avec les unités métriques, prévoyait également l'acquisition d'étalons dont la valeur fût rapportée aux prototypes du Mètre et du Kilogramme. A cet effet, la Légation de Chine en France s'adressa au Bureau, pour lui demander son concours en vue des instructions à donner aux constructeurs pour l'établissement de ces étalons et pour assurer ensuite leur détermination. Les étalons prototypes du *Tchi* et du *Lian* ont été faits en platine iridié; leurs copies ont été établies respectivement en platinite (acier nickel à 43 pour 100), et en baros (alliage de nickel, chrome et manganèse, inoxydable et non magnétique). On a fait également un étalon de 50 lians en baros. L'importance que prendront, dans l'avenir, les prototypes du nouveau Système chinois nous a engagés, M. Guillaume et moi, à déterminer nous-mêmes les équations des prototypes; les copies ont été étudiées par M. Maudet.

Ces travaux étant terminés, S. Exc. M. Liou She-Shun, Ministre de Chine en France, s'est rendu au Bureau, pour prendre livraison des étalons, qui ont été emportés en Chine par M. Ou Ke-Tsao, Attaché de Légation. Ainsi ont pu être reliées, avec le plus haut degré de perfection possible et avec toutes les garanties désirables, les unités du nouveau Système chinois à celles du Système métrique, de telle sorte que le rapport simple entre les unités de longueur, prévu par le législateur, a été assuré dans sa réalité tangible.

L'organisation du Service des Poids et Mesures dans le Royaume

de Bulgarie, en connexion avec son accession à la Convention du Mètre, a été l'occasion d'un travail de même nature. Étant donné le but auquel les étalons étaient destinés, nous n'avons pas cru devoir conseiller au Gouvernement bulgare l'acquisition de prototypes en platine iridié. Le mètre a été fait en platinite et le kilogramme en baros. Nous avons fait, M. Guillaume et moi, les déterminations principales du mètre; l'étude de ses subdivisions a été confiée à M. Perrotin; l'étude du kilogramme a été effectuée entièrement par M. Maudet.

Les travaux dont je viens de parler nous ont conduits à nous occuper des conditions pratiques d'exécution des mesures dans les bureaux principaux de vérification. Entre les comparateurs de haute précision, comme en possèdent quelques établissements métrologiques de premier ordre, et les instruments rudimentaires utilisés pour les opérations les plus ordinaires de la vérification des mesures de longueur, existait jusqu'ici une lacune considérable, couvrant tout le domaine de la moyenne précision. C'est pour la combler que nous avons établi, avec la coopération de la Société genevoise, un comparateur d'un modèle nouveau, permettant d'effectuer très rapidement des mesures sur des étalons divers, à traits ou à bouts, destinés à l'industrie ou au service de la vérification.

Le premier instrument de ce type nouveau a été construit pour le Gouvernement chinois sur les indications de M. Guillaume; il est adapté à la fois aux unités métriques et chinoises, et présente, dans ce but, des dispositions qui pourront être simplifiées dans des instruments semblables destinés seulement à la détermination de longueurs métriques.

L'appareil se compose d'une forte barre de platinite, portant, sur deux bords opposés, des divisions respectivement en cinquièmes de millimètre et en dixièmes de fun ( $0^{\text{mm}},32$ ), contre chacune desquelles on peut amener la règle à étudier, portée sur un banc réglable en hauteur par des vis verticales. Une butée horizontale, montée sur une glissière longitudinale, et commandée par une vis, sert à mettre en coïncidence les zéros des deux divisions; une autre butée à ressort, qu'on peut fixer en un point quelconque de la barre, appuie la règle contre la butée initiale. Les observations sont faites au moyen de loupes portées par la barre.

La mesure d'un étalon à bouts se fait tout aussi simplement. L'étalon est saisi entre les deux butées, dont les positions sont

rapportées aux divisions de la barre, au moyen de traits de repère qu'elles portent, et qui viennent affleurer cette dernière.

Les mesures faites par M. Guillaume sur un grand nombre d'étalons à bouts ont montré que, convenablement manipulé, l'instrument fournit des résultats exacts au centième de millimètre près.

Dans un ordre d'idées analogue, je signalerai l'étude, commencée par M. Maudet et achevée par M. Pérard, d'une machine à mesurer, construite par la Société genevoise, et qui conduit à des résultats d'une remarquable précision. Cette machine est destinée essentiellement à la détermination d'étalons industriels. Elle se compose d'un fort banc portant un micromètre fixe et une règle divisée qui se déplace sous une paire de microscopes mesurant, par le repérage micrométrique de la position de ses divisions, ses mouvements dans la ligne même de la pièce à mesurer. Ce dispositif est destiné à ramener au second ordre de petitesse les erreurs dues au défaut de rectitude du banc guidant les mouvements de la règle. Les deux microscopes devant lesquels elle se déplace sont situés à 500<sup>mm</sup> l'un de l'autre. La règle elle-même possède une longueur de 500<sup>mm</sup>. Le premier microscope sert à mesurer les déplacements à partir du contact des deux butées; le second reprend la règle dans son élongation extrême sous le premier, et mesure dans une nouvelle étendue de 500<sup>mm</sup>. Grâce à ce dispositif, la machine permet d'étudier, sans posséder une longueur excessive, des étalons dont la longueur atteint 1 mètre.

La mesure d'étalons à bouts, à l'aide de cette machine, a donné, par rapport aux valeurs déterminées par nos procédés ordinaires, un écart moyen de 0<sup>u</sup>,6. Quelques perfectionnements dans la construction d'une machine fondée sur les mêmes principes permettront certainement d'abaisser encore un peu les erreurs des résultats auxquels elle conduit; et, comme son maniement est beaucoup plus commode que celui de nos comparateurs, je n'ai pas hésité à aborder, en commun avec la Société genevoise, l'étude d'une machine de même nature, mais permettant d'effectuer, jusqu'à une longueur de 2 mètres, des mesures de pièces de formes diverses. Les plans de cet appareil sont achevés, et l'on en commence la construction. Il nous rendra certainement de grands services, eu égard aux nombreuses demandes de mesures d'étalons à bouts qui nous sont faites, et à plusieurs desquelles nous avons dû renoncer jusqu'ici, faute d'un instrument approprié.

Plusieurs des certificats délivrés dans les deux dernières années sont relatifs à des règles géodésiques. J'avais mentionné, dans mon dernier Rapport, les variations, à très peu près égales, subies par les règles géodésiques en fer doux appartenant à l'Observatoire de Stockholm et à la Section topographique de l'État-Major norvégien. Nous avons gardé ces deux règles au Bureau pendant quelque temps encore, afin de les comparer à notre règle géodésique en platinite, déterminée directement par comparaison avec notre prototype n° 26. Les dernières valeurs trouvées ont été à très peu près confirmées. Nous avons reconnu également, par une série fermée de comparaisons dans laquelle nous avons fait intervenir les règles de fer G<sub>1</sub> et G<sub>2</sub>, que ces dernières se sont bien conservées depuis leur réfection, en 1905.

Je mentionnerai encore l'étude de la règle géodésique en platinite appartenant à la Commission géodésique du Chili, et les nouvelles déterminations de notre règle géodésique en invar et de celle du Service géographique de l'Armée française avant et après les mesures auxquelles elle a servi en Tunisie, au cours de l'année dernière. Ces deux règles ont présenté, par rapport aux précédentes déterminations, un allongement conforme aux prévisions tirées de la courbe générale des changements de l'invar dans le cours du temps. La détermination de la règle française a été faite, avec la coopération des capitaines Wicq et Aubertin pour la première, Wicq et Dagenet pour la seconde.

Les fils nous ont donné un courant de travail très suivi ; ainsi qu'on peut le voir dans le relevé des certificats, plusieurs d'entre ces derniers constituent des additions à des certificats antérieurs ; ils se rapportent à des fils revenus au Bureau après leur emploi sur le terrain. Ces mesures répétées nous ont abondamment documentés sur les variations que subissent les fils en campagne ; une communication spéciale sur cette question sera faite au Comité, au cours de la session.

Les études ayant conduit à des certificats n'appellent pas d'autres commentaires particuliers, sinon qu'elles ont exigé un labeur considérable, auquel tout le personnel scientifique du Bureau a pris part ; on remarquera, dans le relevé précédemment donné, l'accroissement considérable du nombre des études thermométrique effectuées au Bureau. Ce travail a été exécuté en plus grande partie par M. Viard

M. Perrotin a été chargé également d'une partie de ces déterminations.

J'aborde, maintenant, les travaux qui, faisant partie du programme de recherches du Bureau, ont été exécutés dans un but de progrès général de la Métrologie. Bien qu'aucune de ces recherches ne se relie à des questions fondamentales, leur ensemble présente cependant une considérable importance.

J'avais annoncé, dans mon dernier rapport, que j'avais pu, dans des conditions de parfaite réussite quant à la qualité des traits, retracer les règles Type I et Type II, conformément à une décision prise dans la session de 1907. Les équations de ces règles ont été déterminées récemment, par comparaison en série fermée avec nos étalons principaux n° 26 et Type III. Ce travail a été fait en double, par M. Maudet et moi; les résultats en sont résumés dans le Tableau suivant :

Observateurs.	Équation de la Règle.		$\delta$ .
	$T_1$ .	$T_2$ .	
Benoit . . . . .	$6,00$	$+4,22$	$0,07$
Maudet . . . . .	$5,89$	$+4,35$	$0,01$

Les nombres de la dernière colonne représentent les erreurs résiduelles de la compensation, égales et de signes contraires, pour les règles n° 26 et Type III.

L'une des règles nouvellement déterminées pourra, ainsi qu'il avait été décidé, être enfermée dans le dépôt, et constituer l'un des témoins conservés avec le Prototype international; l'autre deviendra l'un de nos étalons principaux, et accompagnera les règles n° 26 et Type III.

Une opération exécutée, suivant le désir de notre collègue M. Egoroff, par M. Blumbach, avec la coopération de M. Maudet, a conduit à des résultats intéressants. La Chambre centrale des Poids et Mesures de l'Empire russe possède une règle de platine iridié portant, entre autres, des traits définissant la longueur du mètre et celle de la demi-sagène. La dilatation de cette règle étant inconnue, on a décidé de la déterminer à la fois par la méthode absolue et par la méthode relative. Pour la première mesure, on a pris, comme longueur de référence, un intervalle de 1 mètre, tracé sur une tige d'invar de dilatation à peu près nulle, et d'ailleurs connue, qui a été main-

tenue, pendant toute l'opération, à une température comprise entre d'étroites limites ; pour la seconde, on a comparé la règle de platine, à égalité de température, à notre étalon de platine iridié n° 13, déterminé autrefois avec un grand soin.

Dans l'intervalle de température des mesures ( 0° et 38° environ ), les résultats obtenus par les deux méthodes diffèrent en moyenne de 0<sup>m</sup>, 012 par degré, quantité très petite, si l'on songe qu'elle représente la somme des erreurs commises sur les deux déterminations absolues et sur la comparaison des dilatations. On peut donc considérer les nouvelles mesures comme donnant une heureuse confirmation des résultats admis jusqu'ici.

A l'occasion des déterminations précédentes, il nous a paru utile de reprendre l'étude des micromètres de nos comparateurs, qui n'avaient plus été soumis, depuis bien des années, à un examen détaillé ; pour ceux qui ont beaucoup servi, nous ne pouvions plus nous fier aux corrections obtenues autrefois. J'ai donc fait reprendre, par M. Perrotin, l'étude des micromètres des comparateurs universel et à dilatation. Pour ce dernier, les corrections ont été trouvées beaucoup plus fortes que lors de leur dernière étude, remontant à l'année 1886 ; mais ces corrections sont bien régulières et peuvent être réunies par une courbe continue. Le sens du changement indique une usure de l'écrrou en bronze qui rappelle la vis d'acier du chariot.

Une tentative faite pour séparer les erreurs de la vis et celles de l'objectif, soit dans les micromètres du comparateur à dilatation, soit dans l'un de ceux du comparateur géodésique, n'a pas donné de résultats nets. On a pu cependant en conclure avec certitude, contrairement à ce qu'on pourrait penser, que la plus grosse partie de la correction provient du micromètre.

Pour le comparateur universel, les corrections se sont plutôt régularisées.

La dernière période bisannuelle a vu l'achèvement de la première comparaison périodique des kilogrammes prototypes, par la détermination des kilogrammes d'Autriche, n° 14, du Danemarck, n° 27, d'Espagne, n°s 3 et 24, de France, n°s 13 et 35, de Hongrie, n° 16, du Japon, n° 6, et de Serbie, n° 11.

Les nouveaux résultats complètent ceux qui avaient été antérieurement acquis, sans modifier sensiblement les conclusions admises. La grande majorité des prototypes de masse ont conservé leur équation dans les limites extrêmes des erreurs des comparaisons,

ainsi que le montre le Tableau récapitulatif ci-après des équations anciennes et nouvelles des prototypes n'ayant subi aucune détérioration visible.

Nu- méros.	Attri- butions.	1 <sup>re</sup> série (1).		2 <sup>e</sup> série.		Nouvelles valeurs moyennes.		Anciennes valeurs.		Différences (nouvelles- anciennes).
		kg	mg	kg	mg	kg	mg	kg	mg	
C...	Bureau	1	+0,168	1	+0,166	1	+0,167	1	+0,154	+0,013
S...			+0,328		+0,328		+0,328		+0,331	-0,003
9...			+0,279		+0,275		+0,277		+0,278	-0,001
31...			+0,141		+0,141		+0,141		+0,137	+0,004
7...	non		-0,507		-0,510		-0,508		-0,504	-0,004
29...	attribués		-0,923		-0,919		-0,921		-0,943	+0,022
6...	Japon		+0,149				+0,149		+0,169	-0,020
14...	Autriche		+0,234				+0,234		+0,247	-0,013
13...	France				-0,169		-0,169		-0,154	-0,015
35...	France				+0,183		+0,183		+0,191	-0,008
3...	Espagne				+0,024		+0,024		+0,021	+0,003
24...	Espagne				-0,187		-0,187		-0,191	+0,004

Trois des kilogrammes, auxquels étaient survenus des accidents plus ou moins graves, ont éprouvé, de ce fait, des diminutions de masse assez sensibles; ce sont les suivants :

Numéro du kilogramme.	Attribution.	Équation	
		ancienne.	nouvelle.
11 .....	Serbie.	$1^{kg} + 0,008$	$- 1,109$
16 .....	Hongrie.	$+ 0,056$	$- 0,019$
27 .....	Danemark.	$+ 0,045$	$+ 0,007$

La présence au Bureau de ces trois kilogrammes nous a permis d'entreprendre une étude sur l'intérêt de laquelle M. J. Violle, Délégué de la France, avait insisté au cours de la quatrième Conférence générale des Poids et Mesures, et à laquelle nous avons renoncé à regret, dans la crainte d'exposer à des causes de détérioration des prototypes restés intacts; il s'agissait d'une mesure nouvelle de leur densité, destinée à renseigner sur les variations

(1) Cette série a compris les kilogrammes nos 11 et 16.

possibles de leur volume, non pour l'usage des kilogrammes eux-mêmes, pour lesquels les changements étaient *a priori* certainement insignifiants, mais pour les conclusions auxquelles cette étude devait conduire relativement à la conservation des prototypes de longueur. Les mêmes craintes n'existant plus pour des cylindres qui portaient déjà de petites détériorations, j'ai fait exécuter, sur ces trois kilogrammes, des pesées hydrostatiques, dont les résultats sont reproduits ci-après :

Numéro du kilogramme.	Volume admis en 1889.	Volume trouvé en 1910; réduction par les Tables	
		anciennes.	nouvelles.
	ml	ml	ml
11.....	46,4111	46,4108	46,4110
16.....	46,4080	46,4099	46,4102
27.....	46,4426	46,4428	46,4432
Moy...	46,4206	46,4212	46,4215

Les nouvelles déterminations ont été ramenées aux conditions normales en utilisant, pour permettre les comparaisons avec les anciennes valeurs, les Tables adoptées à l'époque de l'étude fondamentale des prototypes; les mêmes réductions ont été faites comparativement par d'autres Tables, fondées sur les déterminations plus récentes des éléments de calcul, de manière à fournir les valeurs des volumes considérées comme actuellement plus exactes.

On voit que, dans les limites de précision de la détermination du volume des prototypes, les différences entre les anciennes et nouvelles ne présentent aucun caractère systématique. Le seul écart notable a été fourni par celui des trois kilogrammes pour lequel les déterminations anciennes semblent avoir été d'une précision médiocre.

Tout le travail, considérable et de longue haleine, sur les kilogrammes prototypes, que je viens de résumer, a été exécuté par M. Maudet, avec un soin et une habileté remarquables.

Je dirai maintenant quelques mots d'une étude que j'ai déjà mentionnée, et qui m'a longuement occupé; je veux parler de la mesure,

(<sup>1</sup>) La précision des pesées hydrostatiques, déduite de la concordance des résultats, s'est beaucoup accrue dans ces dernières années, ce qui semble tenir surtout au platinage du fil de suspension.

par les procédés interférentiels, de l'épaisseur d'une petite lame de quartz, appartenant à la Normal-Eichungskommission de Berlin. Dans cette étude, que j'avais pensé d'abord devoir être assez aisée, j'ai rencontré des difficultés imprévues, tenant d'une part à l'insuffisance des moyens dont nous disposions pour des expériences spectroscopiques et interférentielles, d'autre part à la lame elle-même. Pour le premier point, en effet, le seul appareil de ce genre possédé par le Bureau était l'appareil Michelson, qui a été employé à la première détermination, faite il y a dix-huit ans, du rapport des longueurs d'onde de certaines radiations à l'unité métrique, et plus tard, avec quelques modifications, à la mesure de cubes de crown. Les deux autres grands travaux dans lesquels on a fait encore l'application des phénomènes d'interférence à des problèmes métrologiques, et auxquels j'ai prêté une collaboration plus ou moins étendue, ont été exécutés, pour cette partie au moins, hors de chez nous; l'un, avec MM. Fabry et Perot, au Conservatoire des Arts et Métiers, à Paris; l'autre, avec MM. Macé de Lépinay et Buisson, à la Faculté des Sciences de Marseille, avec des installations dont nous n'avons point les équivalents, et en usant d'instruments qui ne nous appartiennent pas. En ce qui concerne la lame, sa forme, sa petitesse, sa fragilité entraînaient, dans les manipulations nécessaires pour les argentures exigées par la méthode employée par M. Chappuis pour la mesure de ses cubes, des difficultés et des risques, qui, avec d'autres raisons d'ailleurs, m'ont fait renoncer très vite à avoir recours à cette méthode. En plus, les irrégularités de la lame, c'est-à-dire les différences de son épaisseur en ses différents points, quoique d'un ordre de grandeur assurément très petit, suffisaient pour altérer, dans certaines conditions, les phénomènes, et m'ont fait échouer dans l'application d'un autre procédé, en vue duquel j'avais obtenu du Conservatoire des Arts et Métiers le prêt gracieux d'un interféromètre Perot-Fabry. Ce procédé consistait à intercaler la lame à étudier entre les deux glaces planes de l'interféromètre, et à repérer les trois systèmes de franges, obtenues en lumières monochromatiques, respectivement entre les deux glaces, et entre chacune d'elles et la face voisine de la lame. Les défauts de surface de celle-ci rendaient les franges obtenues trop irrégulières; et, après quelques essais assez laborieux, exécutés avec la collaboration de M. Pérard, et qui n'ont conduit qu'à de mauvais résultats, je me suis décidé à faire l'étude de la lame par parties, par l'interférence des rayons réfléchis sur ses deux

surfaces. Un mince faisceau monochromatique, convergent, issu soit d'une source à cadmium, soit d'une source à mercure, est projeté successivement sur les différentes parties de la surface de la lame et donne naissance à des anneaux dont on mesure le diamètre. J'ai pu ainsi déterminer l'épaisseur en 51 points, régulièrement répartis sur toute cette surface, et en construire en quelque sorte la topographie exacte. Une fois l'appareil monté et bien réglé, l'expérience est facile. Mais le procédé a l'inconvénient, que j'avais d'abord voulu éviter, d'exiger la connaissance, aussi précise que possible, des indices de la lame de quartz pour les radiations employées.

L'épaisseur de la lame dont il s'agit était d'à peu près 1 millimètre ; dans ce cas, les incertitudes portant sur les valeurs de ces indices peuvent entraîner des erreurs sur l'épaisseur qui ne dépassent certainement pas quelques centièmes de micron. Pour des épaisseurs plus grandes, le procédé deviendrait insuffisant, et il faudrait alors appliquer la méthode intégrale de Macé de Lépinay, qui consiste à ajouter à la mesure précédente une seconde mesure faite par *un autre* phénomène d'interférence (interférence des lames mixtes). Ces deux expériences concomitantes conduisent alors à deux équations contenant comme inconnues l'épaisseur à déterminer et l'indice de réfraction ; ce dernier peut ainsi être éliminé. Mais la seconde opération nécessite l'emploi de quelques appareils que nous ne possédons pas encore.

La détermination dont je viens de parler peut être considérée comme un travail préparatoire à l'étude des types en quartz construits par M. Jobin que j'ai mentionnés plus haut, et en vue de laquelle nous aurons à compléter notre installation. J'ai déjà dit que nous sommes extrêmement gênés, pour le montage de ces expériences, par l'exiguïté de la Salle VI de notre laboratoire, la seule dans laquelle elles puissent être installées.

Passant à une autre question, je rappelle que, pendant la dernière session, notre Collègue Sir David Gill avait attiré l'attention du Comité sur l'emploi possible du quartz fondu (vitreux) pour des applications métrologiques ; et le Comité avait chargé le Bureau de faire, sur des pièces de cette matière, qu'il pourrait se procurer, des essais et des études de tracé et de stabilité. Par l'obligeante intervention de notre Collègue, nous avons reçu, du *Silica Syndicate* à Londres, quelques échantillons, sous forme de petits barreaux, de

quelques centimètres de longueur, sur lesquels nous avons fait des expériences dont je dirai quelques mots.

Nous avons constaté d'abord que le quartz vitreux peut se roder et se polir assez facilement. M. Huetz et moi, avons fait, chacun de notre côté, et avec des machines différentes, un grand nombre d'essais de tracés au diamant sur ces surfaces polies, en changeant les pointes de diamant, leur inclinaison, leur charge, la vitesse de leur mouvement. Nous n'avons jamais pu obtenir un résultat satisfaisant. Les traces laissées par le diamant ne sont pas des traits, mais des séries d'éclats irréguliers, ne supportant pas le grossissement d'un microscope ordinaire de comparateur, et incapables de fournir une définition d'une longueur. Un petit bout de trait, extrêmement fin, tracé sous très faible charge, et laissé pendant une nuit sous l'objectif d'un microscope, a été retrouvé le lendemain spontanément écaillé. L'une des pièces qui nous avaient été livrées a été renvoyée au *Silica Syndicate* pour y subir un recuit. Une fois cette pièce revenue entre nos mains, elle a été repolie, et nous avons recommencé les mêmes essais, mais toujours avec le même insuccès.

On peut, sans doute, faire aisément des tracés sur ce quartz à l'acide fluorhydrique ; mais, quelque fins que soient ces traits, quelque beaux qu'ils paraissent à l'œil nu ou même dans une petite lunette, ils deviennent toujours très irréguliers et très grossiers avec les grossissements employés couramment en Métrologie.

Ainsi le résultat des expériences précédentes paraît nettement défavorable à l'idée de réaliser un étalon de longueur à traits tracé directement sur du quartz fondu.

Quant à des essais de stabilité, j'ai à peine besoin de dire qu'il aurait été matériellement impossible d'en faire aucun, avec des échantillons dont les dimensions ne dépassaient pas un petit nombre de centimètres.

Lors de sa dernière session, le Comité avait affirmé l'intérêt que présenterait la comparaison, en vue de la détermination des éléments des pendules à gravité, de la longueur d'une même règle, dans les deux positions, horizontale et verticale. Or, si l'on en excepte les procédés interférentiels, qui nécessitent une installation compliquée, les méthodes directes permettant une semblable com-

paraïson soulèvent toutes de graves objections ; mais on peut heureusement remplacer cette comparaison par celle de la longueur d'une même règle, alternativement suspendue par son extrémité supérieure et soutenue par son extrémité inférieure, avec l'avantage, au point de vue de la mesure, de doubler la différence cherchée.

Pour effectuer cette mesure, nous avons installé, contre le pilier de briques de la Salle II, l'une des poutres destinées à porter les microscopes du comparateur géodésique, dans la transformation que nous en avons projetée ; et, en regard de cette poutre, nous avons fixé l'une des auges du comparateur à dilatation, munie des organes nécessaires à la manœuvre de la règle.

Pour les mesures, nous avons choisi la Règle Type II, dont la section, rectangulaire, permettait l'emploi d'armatures de forme simple.

Les quantités à mesurer sont très petites, puisqu'une règle de platine iridié de 1<sup>m</sup> de longueur ne diffère que de 0<sup>u</sup>,5 environ, suivant qu'elle est en position horizontale ou suspendue verticalement. Les mesures, auxquelles j'ai pris part avec MM. Guillaume, Pérard et Perrotin, ont été difficiles, soit en raison du fait que les microscopes, empruntés au comparateur géodésique, possèdent un grossissement moindre que ceux de nos comparateurs plus petits ; soit à cause de la sécurité plus faible des pointés dans le sens haut-bas que dans la position symétrique par rapport à la verticale. Les résultats que nous avons obtenus ne sont pas définitifs ; la moyenne nous donne une variation totale égale à 0<sup>u</sup>,5, au lieu de la variation sensiblement double qu'indiquerait la théorie ; mais la médiocre exactitude des mesures suffit à expliquer le désaccord sur des quantités si petites. Nous poursuivrons ces déterminations en tâchant de perfectionner notre installation.

Une autre étude a été faite dans le domaine des déformations élastiques : celle des variations réelles ou apparentes de la longueur des règles étalons suivant leur mode de support, effectuée par M. Guillaume, aidé de M. Viard. Le raccourcissement de la projection d'une règle étant proportionnel à la septième puissance de sa longueur, les règles géodésiques sont particulièrement appropriées à une semblable étude ; comme, de plus, les manipulations de la règle obligent à la laisser découverte, on n'est suffisamment affranchi des erreurs dues à la température qu'en opérant avec une

règle d'invar. C'est notre règle de 40<sup>mm</sup> de section qui a servi à ces expériences, dont M. Guillaume pourra entretenir le Comité dans une prochaine séance. Je me bornerai à dire que les résultats obtenus montrent de manière évidente l'insuffisance des formules ordinaires de l'élasticité pour le calcul des déformations d'une barre d'une section très évidée; les déformations sont toutes plus fortes que ne l'indique la théorie.

M. Guillaume a exécuté une série d'expériences sur l'écroutissage et la dilatation des fils. Plusieurs géodésiens avaient élevé des doutes formels concernant la possibilité de rectifier un fil, ou de l'enrouler sous le diamètre normal de 50<sup>cm</sup>, sans atteindre la limite de sa déformation permanente. Les nombreux enroulages et extensions que nous avons faits autrefois auraient pu suffire à calmer ces craintes. Les nouvelles études, dans lesquelles les fils ont été enroulés sous des diamètres descendant jusqu'à 10<sup>cm</sup>, ont permis de fixer la limite que l'on ne doit pas dépasser; elles ont fourni aussi un criterium de l'écroutissage, consistant à enrouler les fils sous ce diamètre de 10<sup>cm</sup>, et à les laisser reprendre ensuite leur forme naturelle; si celle-ci constitue un anneau d'un diamètre supérieur à 18<sup>cm</sup>, l'écroutissage est suffisant pour permettre, sans crainte de déformations permanentes, les enroulages et les extensions exigés par l'emploi normal des fils.

Des recherches non encore achevées, bien que déjà très étendues, concernant l'action de l'écroutissage et de l'étuvage sur les dilatations, ont fait apparaître les lois de ces actions, et permis d'établir les normes autour desquelles de petites variations des traitements ne modifient plus que de façon insignifiante les valeurs des fils prêts à servir.

Un vœu exprimé par l'Association géodésique internationale dans sa Conférence de Londres, en octobre 1909, nous a amenés à commencer l'étude des rubans d'invar, concurremment avec celle des fils, pour la mesure des bases; mais les difficultés rencontrées dans la fabrication de ces rubans ne nous ont permis jusqu'ici que d'ébaucher ce travail.

Je ne quitterai pas la question des étalons de longueur sans mentionner les études commencées sur les étalons à bouts plans, construits par M. Johansson à Eskilstuna (Suède), avec une perfection tout à fait remarquable, et que nous aurions à peine cru possible

d'obtenir dans une fabrication industrielle. M. Guillaume a poursuivi, depuis près d'une année, l'étude des variations des aciers employés par M. Johansson, tandis que M. Pérard est actuellement occupé à une détermination absolue des étalons que M. Johansson nous a livrés, et qu'il a ajustés, conformément à la décision prise dans la dernière session du Comité, à la température de 0°. Les études préliminaires de divisions, en vue de déterminer certains des étalons à bouts par la méthode d'Airy, ont été faites par M. Viard.

L'ensemble des études faites par M. Pérard sur les étalons à bouts, qui représente un labeur à la fois considérable et fructueux, a été résumé par lui dans un Mémoire dont il achève en ce moment la rédaction, et qui pourra être inséré dans le prochain Volume de nos publications.

La question des étalons de masse nous préoccupe depuis longtemps, et la hausse continue du prix du platine donne une importance particulière à la recherche d'un métal susceptible de le remplacer. Le Comité a pris connaissance déjà des résultats très satisfaisants obtenus avec le baros, inaltérable à l'air sec ou humide. Mais cet alliage est encore attaqué par les acides; et, s'il résout admirablement le problème pour un grand nombre de cas, il ne peut cependant pas être considéré comme un véritable substitut du platine.

Les propriétés particulières du tantale, préparé industriellement par les procédés qu'ont étudiés en Allemagne MM. Feuerlein et von Bolton, semblaient *a priori* promettre un plein succès dans son emploi pour l'objet qui nous occupe. A la demande que lui a adressée M. Guillaume, M. Feuerlein a répondu fort aimablement par l'envoi d'échantillons de tantale, préparés dans la fabrique de lampes Siemens et Halske à Charlottenbourg, et qui, étudiés par M. Guillaume avec la coopération de M. Maudet, ont dépassé nos espérances.

Un morceau de tantale, de 100 grammes environ, traité à l'eau chaude et aux acides nitrique, chlorhydrique, sulfurique, dilués ou purs, n'a subi que des variations de masse insignifiantes, limitées à quelques centièmes de milligramme. Au point de vue de l'inattaquabilité, comme à celui de la dureté, le tantale est donc au moins égal au platine iridié. Son prix, qui, pour les pièces de forme simple, est de 1 franc par gramme environ, lui assure un grand avantage sur le platine. Il est vrai que, pour des formes comme celle des poids à bouton, les difficultés de la fusion, qui doit être effectuée dans l'arc

électrique, élèvent considérablement le prix de revient, et le portent au voisinage de 3 francs par gramme; mais l'écart par rapport au platine reste encore considérable.

En présence de ces résultats, le Comité pourrait reprendre un projet abandonné autrefois en raison du prix très élevé du platine : l'établissement d'une série d'étalons de 100 grammes pour l'usage des chimistes. Je puis mettre sous les yeux du Comité un poids de cette valeur, fondu sous la direction de M. Feuerlein, et dont nous allons achever l'ajustage.

Je me borne à rappeler ici l'apparition, déjà connue du Comité, du Tome XIV des *Travaux et Mémoires*, contenant l'ensemble de toutes les études faites par le Bureau ou avec sa collaboration sur la question du Volume du kilogramme d'eau. Nous tâcherons de faire paraître le plus rapidement possible le Tome XV, qui est déjà partiellement en éprouves.

Je n'ajouterai qu'un mot sur notre Bibliothèque, qui enrichit régulièrement ses collections, par voie soit d'abonnements, soit d'achats, soit d'échanges de publications, et a déjà actuellement une grande valeur. M. Maudet en reste toujours chargé et s'acquitte de cette tâche avec un soin et un ordre dont nous ne pouvons que nous louer. Il en a établi, dans les derniers temps, un catalogue sur fiches, qui nous est d'une grande utilité.

Bien qu'il ne s'agisse plus de travaux proprement dits du Bureau, je ne puis terminer ce Rapport sans dire quelques mots des réformes pour l'accomplissement desquelles il a été fait appel aux compétences particulières que nous avons acquises dans les questions relatives aux poids et mesures en général. C'est ainsi que la nouvelle loi bulgare concernant les unités a été établie conformément au projet qu'avait rédigé M. Guillaume, et dont une copie a été communiquée également au Gouvernement du Royaume de Serbie, par les soins de S. Exc. M. Vesnitch, Ministre plénipotentiaire, Délégué à la quatrième Conférence générale; et une autre au Gouvernement portugais, par l'intermédiaire de M. le professeur Ferreira da Silva, Délégué à la Conférence des méthodes d'analyse des produits alimentaires, qui s'est activement occupé de faire aboutir la revision de la loi dans son pays. C'est à l'occasion des communications faites par le Bureau au sujet de la sanction des prototypes métriques, non encore accomplies au Portugal et en Serbie, que la décision a été

prise de procéder à cette revision, et que la coopération du Bureau a été demandée.

Nous avons été conduits à préparer de même un avant-projet d'organisation du Service des Poids et Mesures dans le Royaume de Siam, à la suite d'une visite faite au Bureau par S. Exc. le Prince Bovaradej, Ministre du Siam, accompagné de M. Corragioni d'Orelli, Conseiller de Légation. M. A. Graham, haut fonctionnaire de l'Administration siamoise, venu à son tour au Bureau pour discuter le détail de la loi projetée, nous a communiqué ultérieurement la décision du Gouvernement de Bangkok, d'adopter purement et simplement le Système métrique.

Une communication semblable nous a été faite au sujet des intentions du Gouvernement grec, par M. Demetriadès, officier de la Marine hellénique, venu en mission pour préparer l'organisation du Service des Poids et Mesures dans son pays.

Enfin, nous avons eu communication tout récemment, par les soins obligeants du Ministère du Commerce de la République française, de la Convention intervenue entre les Républiques de l'Amérique Centrale, qui s'engagent à adopter, à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1912, le Système métrique à titre obligatoire et ont décidé de s'adresser au Bureau pour obtenir des prototypes, qui seront conservés par chacune des cinq Républiques : Costa-Rica, Guatémala, Honduras Nicaragua et San-Salvador.

Ainsi, le domaine sur lequel s'étend l'unification des mesures s'accroît de plus en plus, sur toute l'étendue du globe habité, pour le plus grand avantage de la facilité des échanges, dans le domaine matériel, comme dans celui de la pensée.

Je terminerai, comme de coutume, ce Rapport, en reproduisant la liste des certificats délivrés par le Bureau depuis la précédente session, et établis, d'après des prévisions certaines, jusqu'à la fin du mois courant.

## CERTIFICATS

DELIVRÉS DU 1<sup>er</sup> AVRIL 1909 AU 31 MARS 1911.

1.	1909	Avril	1.	Thermomètre Baudin, n° 16051.	} Laboratoire d'essais du Conservatoire des Arts et Métiers, Paris.
2.	»	»	1.	» n° 16054.	
3.	»	»	1.	Thermomètre Tonnelot, n° 11052.	} Chambre centrale des Poids et Mesures de l'Empire russe.
4.	»	»	6.	Trois fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n° 13 à 15 (Addition aux certificats des 20 décembre 1905, 4 juillet 1907 et 16 septembre 1908).	
5.	»	»	10.	Ruban de 4 <sup>m</sup> en invar, n° 2137 H <sub>3</sub> .	} Service géographique de l'Armée française.
6.	»	»	10.	Fil de 72 <sup>m</sup> en invar, n° 276...	
7.	»	»	25.	Deux réglottes de 25 <sup>m</sup> en acier-nickel, à 58 %/o.....	} British East Africa Protectorate.
8.	»	Juin	10.	Deux fils de 25 <sup>m</sup> en invar, n° 309, 310.....	
9.	»	»	15.	Trois fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n° 285 à 287.....	} M. Pierre Roch, à Rolle (Suisse).
10.	»	»	15.	Fil de 8 <sup>m</sup> en invar, n° 218.....	
11.	»	»	15.	Ruban de 4 <sup>m</sup> en invar, n° 34-2137 H <sub>4</sub> .....	} Service du Cadastre du Royaume de Siam.
12.	»	»	20.	Dilatation d'une barre en acier-nickel à 58 %/o.....	
13.	»	»	22.	Fil de 25 <sup>m</sup> en invar, n° 311...	} Service technique du Ministère des Colonies des Pays-Bas.
14.	»	»	22.	Deux fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n° 5, 6 (Addition au certificat du 15 février 1907).....	
15.	»	»	30.	Deux fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n° 288, 289.....	} Société genevoise (Suisse)
16.	»	»	30.	Fil de 8 <sup>m</sup> en invar, n° 219....	
17.	»	»	30.	Ruban de 4 <sup>m</sup> en invar, n° 34-2137 H <sub>1</sub> .....	} Commission de la délimitation du Chili.
18.	»	Juil.	28.	Fil de 24 <sup>m</sup> en invar, n° 290...	
19.	»	»	28.	Ruban de 4 <sup>m</sup> en invar, n° 35-2135 H <sub>5</sub> .....	} Service géographique de l'Armée française.
					} Ministère de l'Agriculture et des Domaines du Royaume de Roumanie.
					} Institut astronomique de Liège.

20.	1909	Août	10.	Trois fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n <sup>os</sup> 291 à 293.....	} The School of military Engineering, Chatham (Royaume-Uni).
21.	»	»	10.	Fil de 8 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 258....	
22.	»	»	10.	Ruban de 4 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 37- 485 K.....	} M. S. Riefler, Munich. Gouvernement de l'Empire ottoman.
23.	»	»	14.	Dilatation d'une tige d'invar...	
24.	»	»	20.	Trois fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n <sup>os</sup> 294 à 296.....	} Gouvernement de l'Empire ottoman.
25.	»	»	20.	Deux fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n <sup>os</sup> 297, 298.....	
26.	»	»	20.	Fil de 8 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 259....	} Gouvernement de l'Empire ottoman.
27.	»	»	20.	Ruban de 4 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 38- 485 K.....	
28.	»	Sept.	15.	Pièce de 1 <sup>r</sup> .....	} Usine de désargentation. Hoboken-lez-Anvers (Belgique).
29.	»	»	15.	Dilatation d'un mètre en acier- nickel.....	
30.	»	»	28.	Règle géodésique de 4 <sup>m</sup> .....	} M. Karel Vesetca, à Prague.
31.	»	Oct.	15.	Quatre fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n <sup>os</sup> 299 à 302.....	
32.	»	»	15.	Deux thermomètres Baudin, n <sup>os</sup> 17150, 17151.....	} Commission de délimita- tion du Chili. État-Major de l'armée de la République Argentine.
33.	»	»	23.	Deux thermomètres Baudin, n <sup>os</sup> 17134, 17135.....	
34.	»	»	23.	Thermomètre Baudin, n <sup>o</sup> 17143.	} Commission de délimita- tion du Chili. Commission pour la con- servation des prototypes métriques des Pays-Bas. Natuurkundig Laborato- rium der Ryks-Uni- versiteit, Groningue. (Pays-Bas).
35.	»	»	23.	» n <sup>o</sup> 17144.	
36.	»	Nov.	15.	Deux fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n <sup>os</sup> 110, 111 (suite du certi- ficat du 5 mars 1907).....	} Service hydrographique de la Marine française. Grosherzogl. Technische Hochschule, Darmstadt (Allemagne).
37.	»	»	16.	Tige d'invar.....	
38.	»	»	16.	Lian en platine iridié.....	} Gouvernement de l'Empire chinois. Laboratoire de technolo- gie de la Faculté des Sciences de l'Université de Madrid.
39.	»	»	16.	Lian en baros.....	
40.	»	»	20.	Pièce de 10 <sup>g</sup> , en quartz.....	} Gouvernement du Royaume de Danemark.
41.	»	»	20.	Kilogramme prototype n <sup>o</sup> 27. (Note servant de certificat provisoire).....	

42.	1909	Nov.	21.	Thermomètre Baudin n° 17209.	Université de Naples.
43.	»	»	26.	Trois fils de 8 <sup>m</sup> en invar, n°s 261, 315, 316.....	Academia general militar y escuela naval, Montevideo (Uruguay).
44.	»	Déc.	1.	Quatre fils de 25 <sup>m</sup> en invar, n°s 332 à 335.....	Direction de topographie de l'État-Major général, Tokyo.
45.	»	»	1.	Fil de 8 <sup>m</sup> en invar, n° 260....	K.-K. Montanistische Hochschule, Pribram (Bohême).
46.	»	»	1.	Ruban de 4 <sup>m</sup> en invar, n° 39...	
47.	»	»	1.	Doux fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n°s 304, 305.....	Service géographique de l'Armée française.
48.	»	»	5.	Trois fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n°s 306 à 308.....	Société générale d'études et de travaux topographiques, Paris.
49.	»	»	18.	Trois fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n°s 318, 320, 321.....	
50.	»	»	19.	Fil de 8 <sup>m</sup> en invar, n° 317....	Service géographique de l'Armée française.
51.	»	»	19.	Ruban de 4 <sup>m</sup> en invar, n° 40...	
52.	»	»	20.	Règle de 2 <sup>m</sup> .....	Compagnie française Thomson-Houston, Paris.
53.	»	»	20.	Deux thermomètres Baudin n°s 17194, 17195.....	Gouvernement de l'Empire chinois.
54.	»	»	22.	Tchi prototype en platine iridié.	
55.	»	Déc.	22.	Tchi en platinite.....	
56.	»	»	22.	Pièce de 50 lians en baros....	Chambre centrale des Poids et Mesures de l'Empire russe.
57.	»	»	27.	Deux thermomètres Baudin, n°s 17145, 17146.....	
58.	»	»	29.	Trois thermomètres Baudin, n°s 17152 à 17154.....	
59.	»	»	29.	Trois thermomètres Baudin, n°s 17155 à 17157.....	Section topographique de l'État-Major général de l'Armée russe.
60.	»	»	29.	Trois thermomètres Baudin, n°s 17161 à 17163.....	
61.	»	»	29.	Trois thermomètres Baudin, n°s 17165, 17168, 17169....	
62.	1910	Janv.	25.	Comparateur.....	Gouvernement de l'Empire chinois.
63.	»	Févr.	10.	Trois thermomètres Baudin, n°s 17158 à 17160.....	Section topographique de l'État-Major général de l'Armée russe.
64.	»	»	10.	Trois thermomètres Baudin, n°s 17164, 17166, 17167....	
65.	»	Mars	15.	Étalon décimétrique n° 23.....	Laboratoire d'essais du Conservatoire des Arts et Métiers, Paris.

66.	1910	Mars	25.	Deux thermomètres Baudin , n <sup>os</sup> 17170, 17171.....	} Service topographique de l'État-Major général de l'Armée russe.
67.	»	»	25.	Deux thermomètres Baudin , n <sup>os</sup> 17172, 17173.....	
68.	»	Avril	10.	Fil de 20 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 323...	} Oficina de mensura de tierras, Santiago (Chili)
69.	»	»	16.	Ruban de 12 <sup>m</sup> en invar n <sup>o</sup> 2345 K I.....	
70.	»	»	25.	Kilogramme en baros.....	} M. P. Chappuis, Bâle (Suisse).
71.	»	»	26.	Deux fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n <sup>os</sup> 168, 174 (addition au cer- tificats du 1 <sup>er</sup> février 1908)..	
72.	»	»	26.	Fil de 24 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 176 (addition au certificat du 1 <sup>er</sup> février 1908).....	
73.	»	»	26.	Ruban de 12 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 9...	} État-major de l'Armée norvégienne.
74.	»	»	26.	Ruban de 12 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 8..	
75.	»	»	28.	Fil de 12 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 362...	} Gouvernement de l'Em- pire ottoman.
76.	»	Mai.	30.	Deux fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n <sup>os</sup> 326, 327.....	
77.	»	Juin	2.	Fil de 24 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 337....	} Société des mines de Lens (France).
78.	»	»	2.	Ruban de 4 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 42.	
79.	»	»	6.	Deux fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n <sup>os</sup> 207, 208 (addition au cer- tificat du 13 août 1908).....	} Ministère des Colonies, Paris.
80.	»	»	6.	Fil de 24 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 242 (addition au certificat du 13 août 1908).....	
81.	»	»	13.	Règle en invar (Yard).....	} The India Meteorological Departement, Simla (Inde).
82.	»	»	21.	Seize étalons à bouts de 20 <sup>mm</sup> à 500 <sup>mm</sup> .....	
83.	»	»	21.	Dix-sept étalons a bouts de 21 <sup>mm</sup> a 59 <sup>mm</sup> .....	} Chambre centrale des poids et mesures de l'Empire russe.
84.	»	»	21.	Seize étalons à bouts de 20 <sup>mm</sup> à 500 <sup>mm</sup> .....	
85.	»	»	21.	Dix-sept étalons a bouts de 21 <sup>mm</sup> a 59 <sup>mm</sup> .....	

86.	1910	Juin	30.	Douze étalons à bouts de 20 <sup>mm</sup> à 1000 <sup>mm</sup> .....	} National Physical Laboratory, Teddington (Royaume-Uni).
87.	»	»	30.	Quatre étalons à bouts de 101 <sup>mm</sup> à 104 <sup>mm</sup> .....	
88.	»	Juil.	16.	Comparteur pour mesurer les étalons à bouts.....	} Société genevoise (Suisse)
89.	»	»	18.	Trois fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n <sup>os</sup> 303, 322, 324.....	
90.	»	»	18.	Fil de 18 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 346...	} Service hydrographique de la Marine française.
91.	»	»	18.	Ruban de 4 <sup>m</sup> en invar n <sup>o</sup> 41...	
92.	»	»	19.	Trois fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n <sup>os</sup> 306 à 308 (addition au certificat du 5 décembre 1909)	} Service géographique de l'Armée française.
93.	»	»	20.	Trois fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n <sup>os</sup> 13 à 15 (addition aux cer- tificats du 20 décembre 1905, 4 juillet 1907, 16 septembre 1908, 6 avril 1909).....	
94.	»	»	22.	Deux fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n <sup>os</sup> 50, 64 (addition au certi- ficat du 5 mars 1907).....	
95.	»	»	28.	Deux fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n <sup>os</sup> 110, 111 (addition aux certificats du 5 mars 1907 et du 15 novembre 1909).....	} Service hydrographique de la Marine française.
96.	»	Août	10.	Fil de 24 <sup>m</sup> en invar A <sub>10</sub> (addi- tion au certificat du 5 mars 1907).....	
97.	»	Sept.	1.	Règle géodésique de 4 <sup>m</sup> B <sub>1</sub> en fer.....	} Observatoire de Chris- tiana.
98.	»	»	1.	Règle géodésique de 4 <sup>m</sup> B <sub>2</sub> en fer.....	
99.	»	»	12.	Mètre étalon en acier nickel à 43 <sup>o</sup> / <sub>10</sub> .....	} Académie royale des Sciences, Stockholm. Gouvernement du Royaume de Bulgarie.
100.	»	Oct.	20.	Kilogramme en platine.....	
101.	»	Nov.	20.	Ruban de 12 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 10.	} Conservatoire des Arts et Métiers, Paris. Service hydrographique de la Marine française.
102.	»	»	22.	Deux fils de 12 <sup>m</sup> en invar, n <sup>os</sup> 369, 370.....	
103.	»	Déc.	1.	Quatre fils de 25 <sup>m</sup> en invar, n <sup>os</sup> 312, 328, 365, 366.....	} Ministère de l'Agricul- ture et du Commerce, Tokyo. Département des Finances du Gouvernement géné- ral de Choson (Japon).
104.	»	»	1.	Fil de 8 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 347....	
105.	»	»	1.	Ruban de 4 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 43..	

106.	1910	Déc.	2.	Deux fils de 2 <sup>m</sup> en invar n <sup>os</sup> 272, 273.....	{ Direction générale du Cadastré du Canada.
107.	»	»	2.	Règle en invar de 1 <sup>m</sup> à double biseau.....	{ Service topographique de l'Armée serbe.
108.	»	»	4.	Fil de 2 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 325....	{ École technique supé- rieure, Prague.
109.	»	»	10.	Kilogramme en bāros.....	{ Gouvernement du Royau- me de Bulgarie.
110.	»	»	15.	Ruban de 4 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 45..	{ École technique supérieure Prague.
111.	»	»	20.	Trois fils de 2 <sup>m</sup> en invar, n <sup>os</sup> 285 à 287.....	{ Service technique du Ministère des Colonies des Pays-Bas.
112.	»	»	11.	Fil de 8 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 218....	{
113.	»	»	20.	Ruban de 4 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 34...	
114.	»	»	23.	Deux fils de 10 <sup>m</sup> et 5 <sup>m</sup> en invar, A <sub>28</sub> et A <sub>44</sub> .....	{ Service du Cadastre du Ministère des Finances, Paris.
115.	»	»	23.	Fil de 20 <sup>m</sup> en invar, A <sub>45</sub> .....	{
116.	»	»	27.	Règle géodésique de 4 <sup>m</sup> en invar (Addition aux certificats des 10 août 1904 et 13 mars 1909).	
117.	»	»	29.	Barreaux d'un magnétomètre..	{ Observatoire d'Alger.
118.	»	»	30.	Cinq thermomètres Tonnelot, n <sup>os</sup> 32685 à 32689.....	{
119.	»	»	30.	Cinq thermomètres Tonnelot, n <sup>o</sup> 32690 à 32694.....	
120.	»	»	30.	Cinq thermomètres Tonnelot, n <sup>os</sup> 32695 à 32699.....	
121.	»	»	30.	Cinq thermomètres Tonnelot, n <sup>os</sup> 32700 à 32704.....	
122.	1911	Janv.	23.	Deux fils de 2 <sup>m</sup> en invar, n <sup>os</sup> 329, 330.....	
123.	»	»	23.	Fil de 8 <sup>m</sup> en invar, n <sup>o</sup> 349....	{
124.	»	»	25.	Deux fils de 2 <sup>m</sup> en invar, n <sup>os</sup> 331, 336.....	
125.	»	»	31.	Cinq thermomètres Tonnelot, n <sup>os</sup> 32705 à 32709.....	{
126.	»	»	31.	Cinq thermomètres Tonnelot, n <sup>os</sup> 32710 à 32714.....	
127.	»	»	31.	Cinq thermomètres Tonnelot, n <sup>os</sup> 32715 à 32719.....	
128.	»	»	31.	Cinq thermomètres Tonnelot, n <sup>os</sup> 32720 à 32724.....	
129.	»	Fév.	6.	Deux fils de 2 <sup>m</sup> en invar, n <sup>os</sup> 339, 340.....	

130.	1911	Fév. 26.	Deux fils de 24 <sup>m</sup> en invar, n <sup>os</sup> 341, 342.....	{ Service de l'Intendance, Madagascar.
131.	»	» 26.	Cinq thermomètres Tonnelot, n <sup>os</sup> 32725 à 32729.....	{ Compagnie du gaz de Paris.
132.	»	» 26.	Cinq thermomètres Tonnelot, n <sup>os</sup> 32730 à 32734.....	
133.	»	» 26.	Cinq thermomètres Tonnelot, n <sup>os</sup> 32735 à 32739.....	
134.	»	» 26.	Quatre thermomètres Tonnelot, n <sup>os</sup> 32741 à 32744.....	
135.	»	Mars 6.	Thermomètre Baudin, n <sup>o</sup> 17479.	{ Institut polytechnique Pierre-le-Grand, Saint-Petersbourg.
136.	»	» 6.	» n <sup>o</sup> 17480.	
137.	»	» 18.	Ruban de 12 <sup>m</sup> en invar.....	{ Mission hydrographique du Gabon à Loango.

RAPPORTS.

1. 1910 Janv. 25. Rapport sur le comparateur appartenant au Gouvernement de l'Empire chinois.
2. 1910 Fév. 3. Rapport sur l'étude des fils n<sup>os</sup> 168, 174 et 176 appartenant à la Boundary Commission de l'Ouganda.
3. 1910 Déc. 3. Rapport sur l'étude de la machine à mesurer de la Société genevoise.
4. 1911 Mars 31. Rapport sur la mesure d'une lame de quartz appartenant à la Normal Eichungskommission, Berlin.

M. le PRÉSIDENT tient à remercier dès aujourd'hui M. le Directeur et ses collaborateurs des beaux travaux, qui ont donné lieu au remarquable Rapport que le Comité vient d'entendre, et que la Commission et le Comité lui-même auront à apprécier dans ses détails.

A ce propos il tient dès maintenant à constater l'accroissement continu et considérable des travaux demandés au Bureau international par les États contractants, les Institutions scientifiques et la haute technique.

M. le PRÉSIDENT rappelle qu'il y a lieu de nommer les deux commissions habituelles. Sont désignés :

Pour la Commission des Comptes et des Finances :

MM. ARNDTSEN, D'ARRILLAGA, DE BODOLA et HÉPITÉS;

Pour la Commission des Instruments et des Travaux :

MM. DE BODOLA, EGOROFF, GAUTIER, GILL, VON LANG, STRATTON.

Il reste entendu que tous les membres du Comité peuvent prendre part aux travaux des Commissions.

M. FOERSTER invite les Commissions à bien vouloir se constituer, et à préparer leurs Rapports de façon que les séances plénières du Comité puissent avoir lieu :

La deuxième, samedi 1<sup>er</sup> avril à 3 heures après-midi;

La troisième, mardi 4 avril à 3 heures après-midi;

La quatrième, vendredi 7 avril à 3 heures.

La séance est levée à 4 heures.



---

## PROCÈS-VERBAL

DE LA DEUXIÈME SÉANCE,

Samedi 1<sup>er</sup> avril 1911.

PRÉSIDENTE DE M. FOERSTER.

---

Sont présents :

MM. ARNDTSEN, D'ARRILLAGA, BENOÎT, BLASERNA, DE BODOLA, DARBOUX, EGOROFF, FOERSTER, GAUTIER, GILL, HÉPITÈS, VON LANG, STRATTON.

M. GUILLAUME, invité, assiste à la séance.

Le procès-verbal de la première séance est lu et adopté.

M. le PRÉSIDENT donne la parole à M. EGOROFF, qui propose au Comité de s'associer par un vote à la commémoration de deux centenaires. L'un est celui du grand Physicien *Victor Regnault*, qui, par ses mesures de haute précision, a marqué une période inoubliable dans la Métrologie. L'autre est celui de *Bunsen* qui, lui aussi, a été un des plus éminents chefs de l'école de haute précision.

M. BLASERNA s'associe de cœur à la proposition de M. EGOROFF, d'autant plus qu'il a eu l'honneur d'être élève de Regnault. Il a bien regretté de ne pas avoir pu prendre part à sa commémoration, qui a eu lieu au Collège de France, et à laquelle il avait été invité.

M. FOERSTER appuie également la double proposition de M. EGOROFF, et celle-ci est adoptée à l'unanimité.

M. le PRÉSIDENT prie M. le Secrétaire de donner connais-

sance de son Rapport, concernant les faits les plus importants qui se sont produits depuis la dernière session.

M. BLASERNA rappelle qu'antérieurement à la quatrième Conférence générale, il s'était produit dans les Colonies, spécialement dans celles du Royaume-Uni, un mouvement très accentué en vue de pouvoir adhérer à la Convention du Mètre. Le Comité international a cru de son devoir de se conformer à cette tendance, et, d'accord avec les États métropolitains, il a cherché une formule de nature à faciliter ces adhésions. Cette formule a été ratifiée, à l'unanimité, par la quatrième Conférence générale de 1907.

Les premiers résultats de cette décision ont été l'adhésion du Canada à titre de Colonie autonome, et la déclaration de la France au sujet de l'Algérie. Le Comité assiste en ce moment à un mouvement analogue de la part de plusieurs États indépendants. Le Chili, l'Uruguay ont déjà adhéré formellement et font partie maintenant de la Convention. De son côté le Gouvernement bulgare a présenté à l'Assemblée nationale un projet de loi, qui a été adopté, et qui porte l'engagement d'une adhésion formelle pour le cours de l'année 1911.

Cette décision a été portée à la connaissance du Directeur du Bureau international sous forme officieuse, par les lettres suivantes des 4 juillet et 1<sup>er</sup> août 1900, 25 février 1911 :

*Monsieur le Directeur du Bureau international  
des Poids et Mesures.*

MONSIEUR LE DIRECTEUR,

Nous avons l'honneur de vous faire savoir qu'en base des principes insérés dans vos honorées et très intéressantes lettres du 29 juillet et du 15 septembre (a. p.), nous avons élaboré un projet, devenu loi pendant la deuxième session régulière de la XIV<sup>e</sup> Assemblée nationale, sur les Poids et Mesures.

Conformément à l'article 20 de cette loi, l'État bulgare doit adhérer à la Convention internationale du Mètre, à partir de l'année pro-

chaîne; c'est pourquoi nous avons l'honneur de vous prier de bien vouloir nous faire connaître le plus tôt possible, les formalités que doit remplir le gouvernement bulgare dans ce cas, et la cotisation annuelle qu'il doit verser, pour que l'État bulgare soit admis comme membre régulier dans la Convention.

A titre de renseignement, nous avons l'honneur de vous informer, que la population de la Bulgarie, d'après le dernier recensement, est de 4 200 000 habitants.

Dans l'attente de vous lire bientôt, veuillez agréer, Monsieur le Directeur, l'assurance de notre haute considération.

*Pour le Ministre, le chef de section :*

IV. G. LAZAROFF.

*Monsieur le Directeur du Bureau international  
des Poids et Mesures.*

MONSIEUR LE DIRECTEUR,

Nous avons l'honneur de vous accuser réception de votre lettre du mois de juillet courant, par laquelle vous avez bien voulu nous donner les renseignements nécessaires sur toutes les questions, soulevées dans nos lettres des 21 et 23 juin (a. c.). Nous vous exprimons donc nos sentiments de gratitude pour l'amabilité que vous avez montrée une fois de plus envers notre Ministère.

Le Ministère a pris bonne note de toutes les conditions et les formalités à remplir pour l'accession du Royaume de Bulgarie à la Convention du Mètre, et ne manquera pas de notifier officiellement, en temps opportun, cette accession à M. le Président du Comité international des Poids et Mesures par l'intermédiaire du Ministre plénipotentiaire de Bulgarie à Paris.

Le Ministère a pris également note de votre communication que vous avez déjà commandé la confection des prototypes du Mètre et du Kilogramme, et que l'étude sera bientôt complètement achevée.

Nous espérons que dans quelques jours les deux prototypes seront à notre disposition. Nous sommes bien d'accord que le mètre soit placé dans un étui métallique et le kilogramme dans un étui semblable.

En ce qui concerne la fourniture du comparateur du mètre, nous approuvons le modèle, lequel, d'après votre avis, conviendrait le

mieux aux comparaisons des prototypes en forme de H, que vous avez choisie pour le prototype du Mètre.

Pour le moment, le Ministère a l'intention de se procurer seulement un comparateur, et notamment celui que vous voudrez bien approuver, tout en tenant compte de la forme du prototype. En ce qui concerne le comparateur dont votre Directeur adjoint, M. Guillaume, nous a fait mention dans sa lettre du 14 septembre dernier, nous ne pourrions nous le procurer que l'année prochaine, après inscription du crédit nécessaire dans le budget de l'État.

Nous conformant à votre désir, nous avons l'honneur de vous remettre sous ce pli, Monsieur le Directeur, un exemplaire, en langue bulgare, de la loi sur les poids et mesures votée dans la dernière session de l'Assemblée nationale, ainsi qu'une traduction en français du Chapitre de la même loi, concernant les définitions et les dénominations des unités de mesures.

Lorsque le texte entier de la loi sera traduit en français, nous ne manquerons pas de vous en adresser un exemplaire pour la bibliothèque du Bureau.

Veuillez agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de notre considération très distinguée.

*Le Ministre :*

A. LIAPTCHEFF.

*Le chef de section :*

IV. G. LAZAROFF.

*Monsieur le Directeur du Bureau International  
des Poids et Mesures.*

MONSIEUR LE DIRECTEUR,

Nous avons l'honneur de vous informer que nous avons pris livraison, il y a une semaine, des prototypes du Mètre et du Kilogramme, mais nos bureaux ayant été très occupés, nous ne vous répondons qu'aujourd'hui, en vous priant d'excuser ce retard.

Nous devons aussi vous informer que nous avons déjà fait les démarches nécessaires auprès du Ministère des Affaires étrangères de Bulgarie en vue de l'inscription officielle du Royaume comme membre de la Convention internationale du Mètre, à partir du 1<sup>er</sup> janvier écoulé.

Nous vous prions, Monsieur, d'agréer l'expression de nos sentiments les plus distingués.

*Pour le Ministre, le chef de section :*

IV. G. LAZAROFF.

La Convention comptera donc bientôt un membre de plus, et l'on peut déjà prévoir que cet exemple sera suivi en Europe, en Asie et en Amérique.

En conformité de la décision prise par le Comité dans sa session de 1909, le bureau a dû se préoccuper de fixer la date pour la réunion de cette année, et l'a fait connaître par la circulaire suivante :

Berlin et Rome, le 12 novembre 1910.

*Comité international des Poids et Mesures.*

TRÈS HONORÉ ET CHER COLLÈGUE,

Le Comité, dans sa dernière session, en 1909, a décidé que sa prochaine réunion aurait lieu au printemps de 1911, et a laissé à son bureau le soin de fixer la date précise, soit avant, soit après Pâques. Comme la fête de Pâques tombe assez tard, le 16 avril, le bureau a estimé que la réunion devrait la précéder.

Nous avons donc l'honneur de vous convoquer pour la première séance, qui aura lieu

AU PAVILLON DE BRETEUIL

LE MERCREDI 29 MARS 1911 A TROIS HEURES.

Nous nous permettons de compter sur votre présence et sur votre précieuse collaboration.

Veillez agréer, très honoré et cher Collègue, l'expression de nos sentiments les plus dévoués.

*Le Secrétaire :*

P. BLASERNA.

*Le Président :*

W. FOERSTER.

M. le Secrétaire termine son exposé en donnant lec-

ture des deux Rapports financiers suivants, pour les années 1909-1910 et 1910-1911, qui ont été adressés aux hauts gouvernements depuis la dernière session.

## RAPPORT SPÉCIAL FINANCIER

AUX

GOVERNEMENTS DES HAUTES PARTIES CONTRACTANTES

SUR LES EXERCICES DE 1909 ET 1910.

Conformément aux prescriptions réglementaires, nous avons l'honneur de présenter aux Hautes Parties contractantes le *Rapport spécial financier* concernant l'exercice, en grande partie écoulé, de l'année 1909 et les prévisions pour l'exercice de 1910. Nous présentons en même temps le Tableau des parts contributives pour la même année 1910, calculé conformément aux décisions prises par la dernière Conférence générale des Poids et Mesures.

I. Pour l'exercice courant 1909, le Tableau suivant contient les versements des parts contributives effectuées jusqu'à présent :

*Versements faits au Compte du Bureau international  
(jusqu'au 30 novembre 1909).*

		Contributions	
		pour 1909.	arriérées.
		fr	fr
1908	Décembre 19.	République Argentine (par anticipation).....	1 133 »
	Janvier 2.	Uruguay.....	500 »
	Février 6.	Suède.....	1 008 »
	» 11.	Italie.....	6 316 »
	» 16.	Norvège.....	500 »
	» 16.	Suisse.....	628 »
	» 18.	France et Algérie.....	8 243 »
		A reporter.....	18 328

		Contributions	
		p. 1909.	arriérées.
		fr	
		Report.....	18 328
Mars	25.	Canada... . . . . .	» 1 080
»	25.	Allemagne.....	11 454
»	25.	Danemark.....	500
»	25.	Mexique.....	2 570
Avril	9.	Chili.....	642
»	9.	Japon.....	9 804
Mai	22.	Espagne.....	3 696
»	27.	Hongrie.....	3 637
Juin	16.	Pérou.....	861
Juillet	3.	Autriche.....	4 939
»	6.	Russie.....	15 000
Août	11.	Grande-Bretagne et Irlande.	8 344
Octobre	29.	Portugal.....	1 024
Novembre	26.	Serbie.....	517
»	27.	Belgique.....	1 367
»	29.	Roumanie.....	1 244
		Total.....	83 927 1 080

La contribution du Canada montant à..... 1 073  
 Et celle des États-Unis d'Amérique montant à... 15 000  
 complèteront la somme de la dotation annuelle  
 réglementaire de..... 100 000

II. La *Caisse de secours et de retraites* possédait, à la fin d'octobre 1908 :

En capital placé, représentant une	
rente de 1 442 <sup>fr</sup> .....	51 389,55 (valeur d'achat)
En espèces, en caisse.....	371,85
	<u>51 761,40</u>

Depuis cette époque, jusqu'à la fin d'octobre 1909, il a été ajouté :

Retenue sur les traitements.....	887,70
Intérêts du capital placé.....	1 560,75
Taxes de vérifications (1908).....	1 000,00
	<u>3 448,45</u>

Mais, par application (pour la première fois) de l'article 5 du Règlement de la Caisse des retraites, il a été remboursé à M. Tarrade, au moment où il a quitté le Bureau, au mois de mai dernier, une somme de..... <sup>fr</sup> 511,00  
représentant la totalité de ses versements, sans intérêts.

Reste..... 2937,45

Enfin, sur les fonds disponibles, on a acheté, le 25 juin 1909, 75<sup>fr</sup> de rente française, au prix de 2434<sup>fr</sup>,10, courtage compris.

Il en résulte que, à la fin d'octobre 1909, la Caisse de retraites possède :

En capital placé, représentant une	
rente de 1617 <sup>fr</sup> .....	<sup>fr</sup> 53 823,65 (valeur d'achat)
En espèces, en caisse.....	875,20
	<u>54 698,85</u>

III. Le *Fonds de réserve* possédait, fin d'octobre 1908 :

En capital placé, représentant une	
rente de 914 <sup>fr</sup> .....	<sup>fr</sup> 29 160,95 (valeur d'achat)
En espèces, en caisse.....	969,70
	<u>30 120,65</u>

Depuis lors, il s'est enrichi :

Du versement inscrit au budget de 1909.....	<sup>fr</sup> 5 000,00
Des intérêts de son capital.....	1 004,00
	<u>6 004,00</u>

D'autre part, il a été acheté, le 6 avril 1909 :

180<sup>fr</sup> de rente, ayant coûté..... 5 873<sup>fr</sup>,15

Il en résulte que, à la date actuelle, le fonds de réserve possède :

En capital placé, représentant une	
rente de 1094 <sup>fr</sup> .....	<sup>fr</sup> 35 034,10 (valeur d'achat)
En espèces, en caisse.....	1 090,55
	<u>36 124,65</u>

IV. Tous les détails de la comptabilité du Bureau international

pendant les deux exercices de 1907 et 1908 ont été soumis, avec les pièces justificatives, au Comité international pendant la dernière session, tenue à Paris en mars 1909, et publiés *in extenso* dans les *Procès-Verbaux* de cette session. Nous nous bornerons ici, comme de coutume, à reproduire l'indication de la situation financière du Bureau, au commencement de l'exercice actuel, situation qui se résume par les chiffres suivants :

Compte I. Frais d'établissement, solde actif . . . . .	44 456,93	fr
» II. Frais des étalons internationaux, id. . . . .	10 436,85	
» III. Frais annuels, id. . . . .	206 019,09	
Total . . . . .	<u>260 912,87</u>	

V. Le Comité international des Poids et Mesures, dans sa séance du 31 mars 1909, a voté, pour les deux exercices de 1910 et 1911, le budget porté au Tableau suivant :

BUDGET POUR LES EXERCICES DE 1910 ET 1911.

A. *Personnel* :

1. Directeur . . . . .	18 000	fr
2. Directeur adjoint . . . . .	12 000	
3. Assistants . . . . .	11 700	
4. Mécanicien . . . . .	3 360	
5. Garçon de bureau . . . . .	2 160	
6. Personnel auxiliaire pour les études thermométriques, etc., et indemnités pour services et travaux extraordinaires . . . . .	<u>5 780</u>	
		53 000
B. <i>Indemnité du Secrétaire</i> . . . . .		6 000

C. *Frais généraux d'administration* :

1. Entretien des bâtiments, dépendances, mobilier . . . . .	6 000	
2. Achat et entretien des machines et instruments . . . . .	6 000	
3. Frais d'atelier . . . . .	800	
4. Frais de laboratoire et achat de glace . . . . .	2 000	
5. Frais de chauffage . . . . .	<u>3 000</u>	
A reporter . . . . .	17 800	<u>59 000</u>

	Report.....	17 800	fr	59 000	fr
6.	Frais d'éclairage et gaz pour laboratoire et moteur.....	2 000			
7.	Concession d'eau.....	150			
8.	Prime d'assurance.....	350			
9.	Frais de bureau.....	1 200			
10.	Bibliothèque.....	1 000			
11.	Frais d'impressions et de publications..	8 000			
12.	Frais de secrétariat.....	1 000			
13.	Frais divers et imprévus.....	4 500			
14.	Réserve.....	5 000			
				<u>41 000</u>	
	Total.....			100 000	

Ce budget diffère des précédents, en ce qu'il contient une amélioration assez sensible dans les traitements du personnel si distingué attaché au Bureau. Les raisons de cette mesure éminemment justifiée ont été largement exposées dans le Procès-Verbal de la séance du Comité, ci-dessus indiquée, du 31 mars 1909.

VI. Le Tableau ci-après, identique à celui que contenait notre précédent Rapport, reproduit l'indication des parts contributives pour l'année 1910.

*Tableau des parts contributives des États contractants.  
(Exercice de 1910.)*

ÉTATS CONTRACTANTS.	ANNÉE de recensement ou d'évaluation.	POPULATION en milliers d'habitants.	FRAIS ANNUELS 100 000 fr. — Coefficients pour 1000 habitants à fr. 188 875.
1. Allemagne.....	1905	60 641	11 454 <sup>fr.</sup>
2. États-Unis d'Amérique*	1905	84 216	15 000
3. République Argentine.....	1906	6 000	1 133
4. Autriche.....	1900	26 151	4 939
5. Belgique.....	1906	7 239	1 367
6. Canada.....	1905	5 683	1 073
7. Chili.....	1905	3 400	642
8. Danemark*.....	1906	2 605	500
9. Espagne.....	1906	10 566	3 696
10. France et Algérie.....	1906	43 642	8 243
11. Grande-Bretagne et Irlande...	1906	44 177	8 344
12. Hongrie.....	1900	19 255	3 637
13. Italie.....	1906	33 441	6 316
14. Japon.....	1907	51 907	9 804
15. Mexique.....	1900	13 607	2 570
16. Norvège*.....	1906	2 321	500
17. Pérou.....	1896	4 560	861
18. Portugal.....	1900	5 423	1 024
19. Roumanie.....	1906	6 586	1 244
20. Russie*.....	1897 1904 1905	130 507	15 000
21. Serbie.....	1906		517
22. Suède.....	1906		1 008
23. Suisse.....	1900	3 325	628
24. Uruguay*.....	1906	1 103	500
	Total....	583 427	100 000

Les États marqués d'un astérisque sont au maximum ou au minimum de la contribution

Berlin et Rome, le 30 novembre 1909.

*Le Secrétaire,*  
P. BLASERNA.

*Le Président,*  
W. FOERSTER.

## RAPPORT SPÉCIAL FINANCIER

AUX

### GOUVERNEMENTS DES HAUTES PARTIES CONTRACTANTES

SUR LES EXERCICES DE 1910 ET 1911.

Conformément aux prescriptions réglementaires, nous avons l'honneur de présenter aux Hautes Parties contractantes, au nom du Comité international des Poids et Mesures, comme chaque année à pareille époque, le *Rapport spécial financier* relatif à l'exercice, en grande partie écoulé, de l'année 1910 et aux prévisions pour l'exercice de 1911. Nous présentons en même temps le Tableau des parts contributives pour cette même année 1911, calculé conformément aux décisions prises par la dernière Conférence générale des Poids et Mesures.

I. Pour l'exercice courant 1910, le Tableau qui suit contient les versements des parts contributives effectués jusqu'à présent :

*Versements faits au Compte du Bureau international pour  
l'exercice de 1910 (jusqu'au 23 novembre 1910).*

			Contributions pour 1910.
			fr
1909	Décembre	24. Uruguay .....	500
1910	Janvier	7. République Argentine.....	1 133
	Février	2. Danemark .....	500
	»	3. Italie .....	6 316
	»	21. France et Algérie .....	8 243
	»	28. Autriche .....	4 939
	»	28. Mexique .....	2 570
	»	28. Norvège.....	500
	»	28. Suisse.....	628
Mars		24. Allemagne.....	11 454
	»	24. Suède.....	1 008
			<hr/>
A reporter.....			37 791

		Contributions pour 1910. fr	
		Report.....	37791
Avril	8.	Portugal.....	1024
»	24.	Chili.....	642
»	25.	Espagne.....	3696
»	25.	Hongrie.....	3637
»	27.	Russie.....	15000
Mai	3.	Roumanie.....	1244
»	14.	Japon.....	9804
»	25.	États-Unis d'Amérique.....	15000
Juin	12.	Canada.....	1073
Juillet	19.	Grande-Bretagne et Irlande..	8344
Octobre	21.	Belgique.....	1367
Novembre	22.	Serbie.....	517
		Total.....	<u>99139</u>

La contribution du Pérou, non encore versée, montant à 861  
compléterait la somme de la dotation annuelle régle-  
mentaire de..... 100000

D'autre part, les contributions pour l'exercice de 1909, indiquées  
au Rapport financier de l'année dernière comme non encore rentrées  
à la date du 30 novembre 1909, ont été versées depuis, savoir :

16 décembre 1909.	Canada.....	1073 <sup>fr</sup>
2 février 1910.	États-Unis d'Amérique.....	15000

complétant ainsi la dotation de l'exercice précédent.

II. La *Caisse de secours et de retraites* possédait à la fin d'oc-  
tobre 1909 :

En capital placé, représentant une		
rente de 1617 <sup>fr</sup> ,65.....	53823,65	(valeur d'achat)
En espèces, en caisse.....	875,20	
	<u>54698,85</u>	

Depuis cette époque, jusqu'à la fin d'octobre 1910, il a été  
ajouté :

Retenue sur les traitements.....	962,20	fr
Intérêts du capital placé.....	1643,25	
Taxes de vérifications (1909).....	<u>1000,00</u>	
	3605,45	

D'autre part, sur les fonds disponibles, on a acheté, le 15 juillet 1910 :

105<sup>fr</sup> de rente française, au prix de (courtage compris). 3426<sup>fr</sup>

Il en résulte que, à la fin d'octobre 1910, la Caisse de retraites possède :

En capital placé, représentant une	
rente de 1722 <sup>fr</sup> .....	57 249,65 (valeur d'achat)
En espèces, en caisse.....	<u>1 054,65</u>
	58 304,30

III. Le *Fonds de réserve* possédait à la fin d'octobre 1909 :

En capital placé, représentant une	
rente de 1094 <sup>fr</sup> .....	35 034,10 (valeur d'achat)
En espèces, en caisse.....	<u>1 090,55</u>
	36 124,65

Depuis lors, il s'est enrichi :

Du versement inscrit au budget de 1910.....	5 000,00 <sup>fr</sup>
Des intérêts de son capital.....	<u>1 230,50</u>
	6 230,50

D'autre part, il a été acheté, le 8 février 1910 :

182<sup>fr</sup> de rente française au prix de (courtage compris).. 6008,10<sup>fr</sup>  
Il en résulte que, à la date actuelle, le Fonds de réserve possède :

En capital placé, représentant une	
rente de 1276 <sup>fr</sup> .....	41 042,20 (valeur d'achat)
En espèces, en caisse.....	<u>1 312,95</u>
	42 355,15

La Caisse de secours et de retraites et le Fonds de réserve n'ont eu, dans le cours du dernier exercice, à faire face à aucune dépense.

IV. Tous les détails de la comptabilité du Bureau international pendant les deux exercices de 1909 et 1910 seront soumis, avec les pièces justificatives, au Comité international pendant sa prochaine

session, qui aura lieu au printemps de 1911, et seront publiés *in extenso* dans les *Procès-Verbaux*. Ces deux comptabilités ne présentent d'ailleurs rien qui mérite une mention particulière, et nous nous bornerons ici, comme de coutume, à reproduire l'indication de la situation financière du Bureau, au commencement de l'exercice actuel, situation qui se résume par les chiffres suivants :

Compte I.	Frais d'établissement, solde actif . . . . .	49 801,93	fr
» II.	Frais des étalons internationaux, id. . . . .	10 436,85	
» III.	Frais annuels, id. . . . .	203 714,91	
	Total . . . . .	263 953,69	

V. Dans sa séance du 31 mars 1909, le Comité international a voté, pour les deux exercices de 1910 et 1911, le budget porté au Tableau ci-dessous. La distribution des différents Chapitres, pour l'exercice prochain, est donc la même que pour l'année courante, et le Tableau reproduit sans changement celui qui a déjà été donné dans le précédent Rapport financier.

BUDGET POUR L'EXERCICE DE 1911 :

A. *Personnel* :

1. Directeur . . . . .	18 000	fr
2. Directeur adjoint . . . . .	12 000	
3. Assistants . . . . .	11 700	
4. Mécanicien . . . . .	3 360	
5. Garçon de bureau . . . . .	2 160	
6. Personnel auxiliaire pour les études thermométriques, etc., et indemnités pour services et travaux extraordinaires . . .	5 780	
	<hr/>	53 000

B. *Indemnité du Secrétaire* . . . . .

6 000

C. *Frais généraux d'administration* :

1. Entretien des bâtiments, dépendances, mobilier . . . . .	6 000
2. Achat et entretien de machines et instruments . . . . .	6 000
3. Frais d'atelier . . . . .	800

A reporter . . . . .	12 800	<hr/>	59 000
----------------------	--------	-------	--------

Report.....	12 800	fr 59 000
4. Frais de laboratoire et achat de glace...	2 000	
5. Frais de chauffage .....	3 000	
6. Frais d'éclairage et gaz pour laboratoire et moteur .....	2 000	
7. Concession d'eau.....	150	
8. Prime d'assurance .....	350	
9. Frais de bureau .....	1 200	
10. Bibliothèque .....	1 000	
11. Frais d'impressions et de publications...	8 000	
12. Frais de secrétariat .....	1 000	
13. Frais divers et imprévus.....	4 500	
14. Réserve .....	5 000	
		<u>41 000</u>
Total.....		100 000

VI. Nous terminons enfin, en donnant, dans le Tableau suivant, l'indication des parts contributives des Hautes Parties contractantes, pour l'année 1911. Ce Tableau est identique à celui que contenait notre précédent Rapport.

*Tableau des parts contributives des États contractants.  
(Exercice de 1911.)*

ÉTATS CONTRACTANTS.	ANNÉE de recensement ou d'évaluation.	POPULATION en milliers d'habitants.	FRAIS ANNUELS 100 000 fr. — Coefficients pour 1000 habitants 0 fr. 188875.
1. Allemagne.....	1905	60 641	11 454 <sup>fr</sup>
2. États-Unis d'Amérique*.....	1905	84 216	15 000
3. République Argentine.....	1906	6 000	1 133
4. Autriche.....	1900	26 151	4 939
5. Belgique.....	1906	7 239	1 367
6. Canada.....	1905	5 683	1 073
7. Chili.....	1905	3 400	642
8. Danemark*.....	1906	2 605	500
9. Espagne.....	1906	19 566	3 696
10. France et Algérie.....	1906	43 642	8 243
11. Grande-Bretagne et Irlande..	1906	44 177	8 344
12. Hongrie.....	1900	19 255	3 637
13. Italie.....	1906	33 441	6 316
14. Japon.....	1907	51 907	9 804
15. Mexique.....	1900	13 607	2 570
16. Norvège*.....	1906	2 321	500
17. Pérou.....	1896	4 560	861
18. Portugal.....	1900	5 423	1 024
19. Roumanie.....	1906	6 586	1 244
20. Russie*.....	1897 1904 1905	130 507	15 000
21. Serbie.....	1906	2 735	517
22. Suède.....	1906	5 337	1 008
23. Suisse.....	1900	3 325	628
24. Uruguay*.....	1906	1 103	500
Total....		583 427	100 000

Les États marqués d'un astérisque sont au maximum ou au minimum de la contribution.

Berlin et Rome, le 25 novembre 1910.

*Le Secrétaire,*  
P. BLASERNA.

*Le Président,*  
W. FOERSTER.

M. le PRÉSIDENT remercie M. BLASERNA de son Rapport, et donne la parole à M. d'ARRILLAGA, Président de la Commission des Comptes et des Finances.

M. d'ARRILLAGA informe le Comité que la Commission est en état de présenter son premier Rapport, et prie M. Arndtsen, rapporteur, d'en donner lecture.

M. Arndtsen donne lecture du Rapport suivant :

**Premier Rapport de la Commission des Comptes  
et des Finances.**

La Commission des Comptes et des Finances, ayant examiné en détail les comptes et les livres du Bureau international des Poids et Mesures pour les exercices des années 1909 et 1910, a trouvé qu'ils ont été tenus d'une manière parfaite et très claire.

En outre, la Commission a constaté que toutes les dépenses sont justifiées par des pièces à l'appui; elle propose donc au Comité d'approuver les comptes du Bureau pour les exercices de 1909 et 1910, et d'en donner à M. le Directeur décharge pleine et entière.

*Le Rapporteur,*  
A. ARNDTSEN.

*Le Président,*  
F. DE P. ARRILLAGA.

M. le PRÉSIDENT met aux voix les conclusions de la Commission, et *le Comité approuve, à l'unanimité, les comptes du Bureau international pour les exercices 1909 et 1910, et en donne décharge pleine et entière à M. le Directeur.*

M. VON LANG, Président de la Commission des Instruments et des Travaux, fait savoir que la Commission a déjà pu élaborer la première partie de son Rapport.

M. le PRÉSIDENT prie M. GAUTIER, rapporteur, d'en donner connaissance.

## Rapport de la Commission des Instruments et Travaux.

(PREMIÈRE PARTIE.)

La Commission, composée de MM. de Bodola, Egoroff, Gill, von Lang, Stratton et Gautier, s'est réunie pour la première fois, le 29 mars, au Pavillon de Breteuil, pour se constituer : elle a nommé M. von Lang Président, et M. Gautier Rapporteur.

La Commission a tenu ensuite, les 30 et 31 mars, deux séances, auxquelles assistaient, outre les Membres de la Commission, MM. Foerster, Président du Comité; Blaserna, Secrétaire du Comité; d'Arrillaga; Benoît, Directeur du Bureau international; M. Guillaume, Directeur-adjoint; et, pour une partie de la séance du 31 mars, MM. Maudet et Pérard, Assistants au Bureau international.

Au cours de la séance du 31 mars, la Commission a entendu avec le plus vif intérêt les communications de MM. Benoît, Guillaume et Pérard, venant compléter les données contenues dans le substantiel Rapport de M. Benoît. Elle a examiné les divers appareils installés au Bureau, et qui ont servi aux travaux de l'exercice bisannuel.

La Commission a fait porter ses délibérations sur les points suivants :

I. *Kilogrammes prototypes.* — La Commission constate avec satisfaction l'achèvement du travail de vérification des kilogrammes nationaux, provoqué par la circulaire que le Comité avait décidé d'adresser à divers gouvernements lors de sa session de 1909, pour satisfaire la résolution prise par la Conférence générale de 1907. Neuf kilogrammes nationaux ont pris part à cet ensemble de mesures, avec les six disponibles au Bureau.

La Commission soumet au Comité, avec préavis favorable, la proposition d'achever cette importante opération de vérification, en faisant une nouvelle série fermée de comparaisons, dans laquelle entrerait celui des témoins du Prototype international qui avait pris part à la première série des vérifications, avec un certain nombre de kilogrammes du Bureau.

II. *Mètres prototypes.* — A. *Nouveau témoin du mètre.* — La Commission a entendu avec grand intérêt la lecture faite par M. Gill d'une Note de M. Kaye, du « National Physical Laboratory » sur la construction d'un *mètre en quartz fondu* et sur les dispositions qui ont été prises pour en faire un étalon à traits.

Les mêmes résultats négatifs auxquels est arrivé M. Benoît pour le tracé au diamant de traits, sur des surfaces de quartz polies, ont été également constatés à Kew, et il a fallu recourir à d'autres procédés.

La traduction de la Note de M. Kaye est annexée à ce Rapport.

La Commission, sur la proposition de Sir D. Gill, propose au Comité :  
1° de faire venir au Bureau international un mètre de quartz fondu du type ci-dessus décrit, destiné au Service des poids et mesures des Indes, de le soumettre à des épreuves de vérification ; et 2° si le résultat de ces épreuves est satisfaisant, d'autoriser le Bureau international à en commander un, avec les modifications éventuelles qui sembleraient nécessaires.

B. *Témoins existants du Mètre.* — Après avoir pris connaissance des résultats obtenus dans la comparaison des étalons Type I et Type II, tracés en 1909 par M. Benoît, avec les deux prototypes disponibles n° 26 et Type III, la Commission propose au Comité :

1° D'enfermer le Type I dans le coffre-fort des prototypes comme témoin du Mètre international ;

2° De conserver le Type II pour les travaux du Bureau, ce qui portera de deux à trois le nombre des prototypes dont le Bureau international pourra disposer.

C. *Détermination des longueurs dans le sens vertical.* — La Commission remercie M. Benoît et ses collaborateurs des expériences déjà faites dans ce but, et désire qu'elles soient poursuivies. Dans le cas où ces travaux ne fourniraient qu'un résultat négatif, la Commission enregistre le vœu de M. de Bodola que la comparaison d'un prototype en platine iridié dans la position horizontale, et suspendu dans la position verticale, par des procédés interférentiels, soit mise au programme futur des travaux du Bureau international.

III. *Appareils géodésiques.* — La Commission a entendu avec grand intérêt la communication de M. Guillaume sur les mesures faites en pays lointains (République Argentine et Sibérie) avec des fils d'invar étalonnés au Bureau international.

Elle proposera que le compte rendu de ces travaux et la suite des études poursuivies au Pavillon de Breteuil soient publiées en annexe aux Procès-Verbaux de la Session.

La Commission approuve l'initiative prise par le Bureau, sur

l'invitation du Président du Comité, de poursuivre, concurremment avec l'étude des fils d'invar, celle des rubans d'invar qui ont donné de si bons résultats dans les mesures de bases étudiées aux États-Unis d'Amérique.

IV. *Situation et Traitements du personnel du Bureau.* — Sous réserve de l'examen qu'en fera la Commission des Comptes et des Finances, la Commission des Instruments et des Travaux se déclare à l'unanimité d'accord avec la proposition du Président et du Secrétaire du Comité, de reprendre une ancienne tradition du Bureau international, qui comptait autrefois des *Adjoints* à côté du Directeur. Cette proposition consiste à :

1° Nommer *Adjoints*, en relevant leurs traitements, MM. Pérard et Maudet, en témoignage de satisfaction pour les services rendus au Bureau, et dans la certitude qu'ils continueront à s'acquitter de leur tâche avec le même zèle et le même intérêt;

2° Autoriser le Directeur du Bureau à augmenter aussi, dans une certaine mesure, les traitements d'autres employés du Bureau.

*Le Rapporteur :*  
R. GAUTIER.

*Le Président :*  
VON LANG.

#### RAPPORT

présenté au Directeur du « National Physical Laboratory »  
sur un étalon de longueur en silice fondue,

Par G.-W.-C. KAYE, B. A., D. Sc.

Le coefficient de dilatation extrêmement faible de la silice fondue ou quartz vitreux recommande son emploi comme matière propre à la construction d'un étalon de longueur. La dilatation linéaire moyenne entre  $0^{\circ}$  et  $t^{\circ}$  peut être représentée en effet par  $(0,39 + 0,0012t) \cdot 10^{-6}$  dans l'intervalle de  $0^{\circ}$  à  $50^{\circ}$  (1).

La valeur pratique de cette propriété de la silice fondue serait considérablement abaissée si elle était accompagnée d'une hystérèse (2) thermique appréciable. On sait que l'équilibre dans le verre

---

(1) KAYE, *Phil. Mag.*, 6<sup>e</sup> série, t. XX, p. 718, 1910.

(2) L'hystérèse est définie de la manière suivante : soit  $l$  la longueur d'un échantillon conservé pendant longtemps à  $0^{\circ}$ . Il est chauffé à  $t^{\circ}$ , et maintenu à cette température jusqu'à ce que l'équilibre soit établi, puis il est ramené rapidement à  $0^{\circ}$ . La longueur après un temps très court est  $(l + dl)$ ; la quantité  $\frac{dl}{l}$  est prise comme mesure de l'hystérèse.

s'établit d'autant plus lentement que sa composition est plus complexe; la nature chimiquement simple de la silice fondue permettait donc de penser que son hystérèse thermique serait très faible. Toutefois des expériences directes pouvaient seules renseigner sur les limites réelles de cette propriété. Elles ont été entreprises par le National Physical Laboratory, et ont consisté en des chauffes s'étendant sur des durées de 1 à 90 heures, auxquelles ont été soumis des échantillons de silice, transparente ou translucide.

Les résultats ci-après se rapportent à de la silice recuite. On leur a joint, à titre de comparaison, les nombres relatifs aux verres à thermomètres les plus usités.

Substance.	Intervalle de tempér.	Hystérèse.	Auteur.
Silice fondue....	0° à — 190° C.	0 × 10 <sup>-9</sup>	N. P. L.
»	0° à 50°	0 »	»
»	0° à 400°	0 à — 5 »	»
»	0° à 800°	— 17 »	»
Verre d'Iéna 59 <sup>m</sup> .	0° à 50°	+ 23 »	Thiesen et Scheel
» 16 <sup>m</sup> .	0° à 50°	+ 42 »	»
Verre dur.....	0° à 50°	+ 56 »	»

La silice fondue est, comme on sait, inoxydable. Elle est un peu plus dure que le verre, mais à peu près aussi fragile. Le module d'élasticité est environ 5.10<sup>11</sup> dynes par centimètre carré; la densité 2,2; la conductibilité thermique est faible.

La solubilité dans l'eau est d'environ  $\frac{1}{100000}$ ; quoique faible, elle impose de protéger les traits si la silice est employée dans l'eau. On n'a éprouvé aucune difficulté à tracer sur la silice des lignes suffisamment fines et définies; mais deux objections peuvent être faites au tracé direct sur la silice: la première est l'écaillage du bord de ces lignes, qui se produit spontanément dans les quelques journées qui suivent le tracé; l'autre est la grande difficulté de voir les traits lorsque la silice est immergée dans l'eau, les indices de réfraction étant très peu différents.

On s'est finalement décidé à recouvrir la silice d'une couche de platine, et à pratiquer les traits dans cette dernière.

*Description du mètre en silice.* — La forme définitive de l'étalon de silice est celle d'un tube transparent (*fig. 1*, détail *fig. 2*), de 2<sup>cm</sup> de diamètre et de 1<sup>m</sup> de longueur, qui se termine, à chaque extrémité,

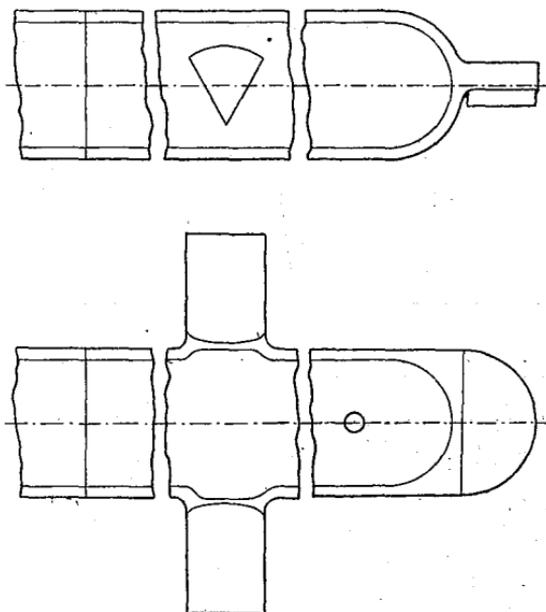
par un disque semi-circulaire de silice, de 3<sup>mm</sup> d'épaisseur, destiné à porter le platine et les traits.

Fig. 1.



Un appendice en forme de couteau a été soudé au tube à l'un des points normaux de support (points d'Airy) ; l'autre point est indiqué par une circonférence gravée tout autour du tube. Deux trous ont été pratiqués dans le tube, qui, sans cela, aurait flotté sur l'eau.

Fig. 2.



Bien qu'il soit possible d'obtenir une couche permanente et adhérente de platine, il a été décidé de protéger celui-ci par une lame de recouvrement.

Si les lignes de référence étaient observées à travers cette lame, la longueur apparente de l'étalon serait affectée par tous les changements dans l'inclinaison de cette dernière. Pour l'éviter, on a

platiné la face inférieure du disque, et l'on a tracé les traits en coupant tout au travers du platine (*fig. 3*); les observations sont faites à travers le disque.

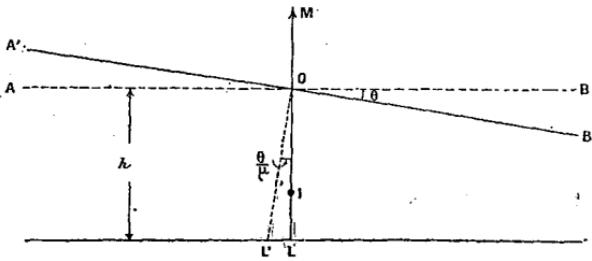
Fig. 3.



Les disques sont constitués par de la silice particulièrement limpide et exempte de bulles; les surfaces ont été polies optiquement, et sont parallèles à moins de  $\frac{1}{500}$  pour chacun des disques.

On voit aisément que le déplacement  $LL'$  d'un trait (*fig. 4*), dû

Fig. 4.



à l'inclinaison  $\theta$  de la surface  $A'B'$  sur l'horizontale  $AB$ , est égal à  $OI \cdot \theta$ ,  $OI$  étant égal à  $\frac{h}{\mu}$ . Tel serait le déplacement de  $L$  en supposant  $I$  dans le plan des fibres neutres.

Les disques ne sont donc pas symétriques par rapport au plan médian horizontal du mètre; ils ont été abaissés de manière à placer le point  $I$  dans le plan des fibres neutres lorsque la règle est dans l'eau. L'indice de réfraction de la silice par rapport à l'eau est voisin de 1,1, de telle sorte que, avec des disques de  $3^{\text{mm}}, 3$ , l'image est relevée d'environ  $0^{\text{mm}}, 3$ . Comme  $\mu$ , pour la silice dans l'air, est égal à 1,5 environ, on ne commettra pas une erreur notable en employant la barre dans l'air. Pour pouvoir se servir du mètre indifféremment dans l'eau ou dans l'air, les surfaces supérieures des disques ont été amenées au parallélisme à  $\frac{1}{25000}$  près, le tube étant supporté normalement.

*Platinage des disques.* — On a cherché une méthode de platinage donnant une surface brillante du côté de la silice, de manière à faire apparaître les traits noirs sur blanc, l'éclairage étant normal. On a eu recours dans ce but au « platine liquide », de MM. Johnson Mathey et C<sup>o</sup>. C'est une solution légèrement gommeuse d'un sel de platine, qui se décompose à chaud, et donne d'excellents dépôts. Un peu d'expérience est nécessaire pour obtenir des dépôts très adhérents, brillants du côté de la silice; lorsque l'opération est bien réussie, le platine est assez dur pour supporter le brunissage au moyen d'un métal tendre.

*Tracé.* — Les traits ont été pratiqués sur les disques avant le recuit, afin de voir si cette opération produisait une modification de la barre; cette opération a été effectuée au moyen de la machine à diviser du laboratoire. En dehors du choix du diamant, les conditions de succès sont : une faible charge et un tracé lent. Le dépôt de platine, relativement doux sur la silice plus dure, permet de faire des traits extrêmement nets. On peut obtenir presque n'importe quel degré de finesse en modifiant la charge du diamant. Avec des charges inférieures à 5 grammes, les traits étaient trop fins pour l'usage des microscopes grossissant 20 à 50 fois; une charge de 7 grammes a été finalement adoptée. On a pratiqué, de chaque côté des traits proprement dits, deux autres traits plus forts, à 100 microns de distance; tous ces traits sont recoupés par des lignes longitudinales à la distance de 200 microns environ.

L'observation à travers la silice présente un grand avantage sur le mode ordinaire d'emploi des règles étalons, la surface vue au microscope étant protégée et soustraite à toute détérioration.

*Recuit.* — Pour le recuit, on a construit un four consistant en un tube d'argile réfractaire de 1<sup>m</sup>, 50 de longueur et d'un diamètre intérieur de 90<sup>mm</sup> qui porte un enroulage de fils *Euréka*.

Le mètre, placé sur un chariot avec des contacts en silice, a été introduit dans le four à la température ambiante. La température a été alors élevée en deux jours à 450° environ, et a été maintenue pendant huit jours, après quoi on a laissé refroidir le four pendant une quinzaine.

La longueur du mètre après recuit a été trouvée égale à 1<sup>m</sup> + 67<sup>μ</sup>, 9 à 18° C.; il avait subi, par l'effet du recuit, une contraction d'un peu plus d'un demi-micron.

Les plaques de recouvrement en silice ont été enfin fixées sous

les disques au moyen d'un ciment à froid; on a imperméabilisé le joint à l'aide d'un mélange de minium et d'huile de lin.

M. le PRÉSIDENT fait observer que cette première partie du Rapport de la Commission contient plusieurs propositions bien distinctes, sur lesquelles il convient de délibérer séparément.

La *première* de ces propositions, faite par M. BENOÎT et recommandée par la Commission, consiste à comparer une seconde fois un certain nombre de kilogrammes, en une série fermée, dans laquelle on ferait entrer quelques kilogrammes disponibles du Bureau et celui des témoins du Prototype international qui avait pris part à la première série de vérifications.

M. BENOÎT donne des explications complémentaires sur le doute qui a pu naître à l'égard de quelques kilogrammes et sur les limites entre lesquelles oscillent ces divergences.

M. GILL ne voudrait pas s'opposer d'une façon formelle à cette nouvelle étude, mais il se demande s'il est bien nécessaire d'en courir les risques, étant donné que les divergences sont extrêmement minimes.

M. EGOROFF est d'avis que ces nouvelles déterminations seront utiles, pour clôturer la première série des comparaisons périodiques, par l'établissement de la valeur moyenne du groupe des prototypes dont les chances de variations ont été les moindres.

M. BLASERNA fait observer que tous ces kilogrammes se trouvent sous la main, et que, par conséquent, ils n'auront pas à courir les risques d'un transport.

M. FOERSTER insiste également pour cette nouvelle étude à laquelle M. Gill se rallie de son côté.

La proposition, mise aux voix, est adoptée à l'unanimité.

La *deuxième* proposition de la Commission a trait au

mètre en quartz fondu qui a été construit en Angleterre, selon les indications de M. Kaye, pour le National Physical Laboratory. Un nouvel exemplaire sera construit pour le Service des Indes. M. Gill a proposé que celui-ci soit étudié et comparé au Bureau international. La Commission appuie cette idée, et propose que, si cette étude donne des résultats favorables, le Bureau soit autorisé à acquérir un mètre semblable avec les modifications éventuelles qui sembleraient nécessaires.

Cette proposition, mise aux voix, est adoptée.

La *troisième* proposition de la Commission consiste à enfermer le Type I dans le coffre-fort des prototypes comme témoin du Mètre international, et de mettre à la disposition du Bureau le Type II, ce qui portera de deux à trois le nombre des prototypes destinés aux travaux de vérification.

La proposition est adoptée.

La *quatrième* proposition de la Commission recommande que le Bureau continue ses recherches sur les mesures verticales, et appuie l'idée de M. de Bodola, qu'il serait peut-être utile d'avoir recours aux procédés interférentiels.

M. BENOÎT fait remarquer que le procédé interférentiel qui a été employé, pour les mesures horizontales, a exigé un local spécial d'une longueur d'au moins 15<sup>m</sup>, ce qui a conduit à transporter la détermination au Conservatoire des Arts et Métiers; et que, pour les exécuter dans le sens vertical, il faudrait, sans parler d'autres difficultés, disposer d'une salle de grande hauteur, qui n'existe pas à Breteuil; ce qui rend le projet irréalisable pour le moment.

M. EGOROFF pense que les différences entre les mesures dans le sens horizontal et dans le sens vertical seraient extrêmement minimes.

M. FOERSTER partage les avis de MM. Benoît et Egoroff, tout en approuvant que les mesures dans le sens vertical soient poursuivies au Bureau.

Ainsi comprise, la proposition de la Commission est adoptée.

La *cinquième* proposition de la Commission recommande au Bureau de continuer ses études sur les fils d'invar qui ont servi dans des pays lointains, et d'étendre ces recherches aussi aux rubans d'invar.

M. Guillaume fait à cet égard la communication suivante :

1° Quatre fils  $A_1, A_2, A_3, A_4$ , ont été envoyés, en 1904, au Service géodésique de l'armée Argentine. Ces fils ont été utilisés par M. Lederer dans la mesure d'une base de 3072<sup>m</sup> de longueur environ, soit 128 portées, déterminée de façon indépendante par chacun d'eux. Les excédents des mesures faites par chaque fil doivent donc, aux erreurs d'observation près, différer entre eux d'une quantité égale à 128 fois la différence de longueur de chacun d'eux; les quotients de ces excédents par 128 représentent donc, dans les mêmes limites, les équations relatives des fils. Or, les différences entre ces quotients et les équations portées aux certificats du Bureau ont donné pour

$A_1$ .....	mm. 6,92
$A_2$ .....	6,94
$A_3$ .....	6,92
$A_4$ .....	6,92

Les équations relatives trouvées dans la République Argentine sont donc pratiquement identiques à celles qui résultent des certificats du Bureau.

2° Six fils, n<sup>os</sup> 131, 132, 133, 134, 135, 136, ont été envoyés à Omsk en 1907, et utilisés dans une mesure de base sous la direction du colonel Pavlov. Ces fils ont été d'abord comparés deux à deux par la mesure commune de certaines longueurs, comprenant un nombre variable de portées. La plus grande partie de la base (au total 8700<sup>m</sup>) a été mesurée au moyen de deux fils n<sup>os</sup> 131 et 133. Les températures, au cours de la mesure, ont varié entre — 0°,5 et 20°,5.

Les résultats ont été les suivants :

Fils.	Différences Sèvres — Omsk.
	mm
131 — 132 .....	0,00
133 — 134 .....	0,00
135 — 136 .....	— 0,01
131 — 133 .....	— 0,01

L'identité est donc encore complète.

La *sixième* proposition de la Commission concerne le traitement du personnel du Bureau. Sous réserve de l'examen que la Commission des Comptes et des Finances en fera, la Commission des Instruments et des Travaux reconnaît unanimement la convenance de revenir à l'institution des Adjoints, qui a déjà antérieurement existé pendant longtemps, et n'a jamais été abolie en principe. Cette mesure se recommande au double point de vue : de donner à MM. Pérard et Maudet un témoignage bien mérité de satisfaction pour les services déjà rendus au Bureau, et d'assurer en même temps la stabilité dans l'exécution des travaux qui ont besoin d'un personnel sûr et exercé.

M. BENOÎT déclare qu'il considère cette mesure comme tout à fait nécessaire. Le Bureau possède un personnel de choix, qui doit être attaché d'une façon officielle à l'établissement.

M. GILL appuie chaleureusement la proposition, et exprime l'espoir que la Commission des Comptes et des Finances trouvera les moyens matériels d'assurer cette amélioration.

M. le PRÉSIDENT se déclare entièrement d'accord avec les sentiments qui viennent d'être exprimés, et est heureux de constater l'unanimité du Comité à cet égard. Il met aux voix la proposition, qui est adoptée à l'unanimité.

M. le PRÉSIDENT met ensuite aux voix l'ensemble des six propositions, qui est adopté à l'unanimité.

M. le PRÉSIDENT donne la parole à M. ARNDTSEN, qui fait, au sujet du commerce des bois de construction, une proposition que le Comité renvoie à l'examen de la Commission des Instruments et des Travaux.

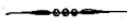
M. le PRÉSIDENT donne la parole à M. GUILLAUME, qui présente un rapport sur les récents progrès du Système métrique, sur l'introduction du carat métrique et sur les définitions des principales unités mécaniques.

M. GUILLAUME présente aussi un travail qui donne des indications pour l'élaboration d'une loi sur les Poids et Mesures, et demande de pouvoir continuer cette communication à la prochaine séance.

M. FOERSTER signale à l'attention du Comité la convenance et la presque nécessité de s'occuper des étalons à bouts.

M. BENOÎT appuie cette observation, et donnera à ce propos les explications qui pourraient lui être demandées.

La séance est levée à 5 heures et demie.



---

# PROCÈS-VERBAL

DE LA TROISIÈME SÉANCE,

Mardi 4 avril 1911.

PRÉSIDENCE DE M. FOERSTER.

---

Sont présents :

MM. ARNDTSEN, D'ARRILLAGA, BENOÎT, BLASERNA, DE BODOLA, EGOROFF, FOERSTER, GAUTIER, GILL, HÉPITÉS, VON LANG, STRATTON.

M. GUILLAUME, invité, assiste à la séance.

La séance est ouverte à 3 heures.

Le procès-verbal de la deuxième séance est lu et adopté.

M. le PRÉSIDENT donne la parole à M. ARNDTSEN pour la lecture du deuxième Rapport de la Commission des Comptes et des Finances.

M. ARNDTSEN lit le Rapport suivant :

Deuxième Rapport de la Commission des Comptes et des Finances.

La Commission approuve le Rapport financier de M. le Directeur, dont toutes les parties sont très claires et complètes; elle n'a donc, à cet égard, que peu de choses à ajouter.

1° En ce qui concerne la balance Rueprecht n° 3, la Commission, après nouvel examen, propose, vu le prix demandé par le constructeur pour opérer, sur cette balance, une restauration semblable à celle qui a été faite il y a quelques années sur la balance n° 1, prix qui dépasserait très notablement le crédit prévu précédemment, de renoncer à cette restauration, et de conserver tel qu'il est,

pour le moment au moins, cet instrument qui pêche surtout par de mauvaises dispositions des parties accessoires, principalement du système de déclenchement, mais est en très bon état et peut faire encore un utile service.

Par contre, la Commission, sur la proposition de M. le Directeur, serait d'avis d'approuver l'acquisition d'une petite balance d'une portée d'une quinzaine de grammes, d'un modèle qui a été présenté par le constructeur M. W. Heusser, et qui, dans les essais qui ont été faits au Bureau, a donné des résultats très satisfaisants. Le prix de cette balance est fixé à 1000 francs.

2° Ainsi qu'il a été indiqué dans le Rapport de M. le Directeur, les pièces destinées à la transformation du comparateur géodésique en comparateur universel pour toutes longueurs jusqu'à 5<sup>m</sup>, ont été construites par la Société genevoise, et ont pu être mises sous les yeux du Comité. Elles ont été payées sur l'exercice de 1909. La transformation elle-même, qui a été retardée par des causes diverses, également indiquées dans le Rapport précité, et qui constituera un long travail, va être entreprise immédiatement.

3° En ce qui concerne le budget des frais annuels, pour les deux exercices de 1912 et 1913, la Commission des finances soumet au vote du Comité le projet suivant :

PROJET DE BUDGET POUR LES EXERCICES DE 1912 et 1913 :

A. *Personnel* :

1. Directeur.....	18 000	fr
2. Directeur-adjoint.....	12 000	
3. Deux adjoints.....	12 000	
4. Assistant, personnel auxiliaire pour les études thermométriques, indemnités pour services et travaux extraordinaires.....	8 760	
5. Mécanicien.....	3 840	
6. Garçon de bureau.....	2 400	
	<hr/>	57 000 fr

B. *Indemnité du Secrétaire*.....

6 000

C. *Frais généraux d'administration* :

1. Entretien des bâtiments, dépendances, mobilier.....	6 000
--	-------

A reporter..... 6 000 

---

 63 000

Report.....	6 000 <sup>fr</sup>	63 000
2. Achat et entretien des machines et instruments.....	4 500	
3. Frais d'atelier.....	800	
4. Frais de laboratoire et achat de glace....	2 000	
5. Frais de chauffage.....	3 000	
6. Frais d'éclairage et gaz pour laboratoire et moteur.....	2 000	
7. Concession d'eau.....	150	
8. Prime d'assurance.....	350	
9. Frais de bureau.....	1 200	
10. Bibliothèque.....	1 000	
11. Frais d'impressions et de publications....	6 000	
12. Frais de secrétariat.....	1 000	
13. Frais divers et imprévus..	4 000	
14. Réserve.....	5 000	
	<hr/>	37 000
Total.....		100 000

En comparant ce budget à celui qui avait été voté dans la précédente session, on voit que sa caractéristique essentielle consiste dans le rétablissement du titre et de la situation d'Adjoint, qui ont existé autrefois au Bureau, mais, pour des raisons qui ont été expliquées en leur temps, n'avaient plus eu d'occupants depuis plusieurs années. Conformément à l'avis exprimé par la Commission des Instruments et Travaux, le Comité a jugé nécessaire, dans l'intérêt de notre Institution et de son avenir, et équitable, en raison de longs et importants services, de rétablir ce titre et cette fonction en faveur de nos deux Assistants, MM. Pérard et Maudet, afin d'affirmer leur situation et de la rendre en quelque sorte plus officielle. Quelques légères augmentations ont été d'autre part prévues pour le reste du personnel.

Il a été aisé de satisfaire à ces mesures sans augmenter le budget, en diminuant un peu les crédits affectés à quelques chapitres, sur lesquels l'expérience des dernières années a montré qu'il était possible de réaliser des économies sans nuire à ces services.

La Commission propose en outre que ce nouveau budget soit valable à partir du deuxième trimestre (compris) de l'année courante.

4° La Commission des Comptes et des Finances, d'accord avec M. le Directeur du Bureau, soumet au Comité la résolution suivante en vue de la préparation de la Conférence :

Considérant que le Bureau doit, dans l'avenir, faire face à des exigences scientifiques de plus en plus importantes et coûteuses, et que, pour y satisfaire, il deviendra indispensable d'augmenter, d'amplifier et de perfectionner les bâtiments et les outillages scientifiques des laboratoires aussi bien que d'augmenter son personnel, pour lequel on devra disposer des ressources nécessaires, permettant de lui donner des situations correspondant à l'importance de son œuvre et aux besoins croissants de la vie, ainsi que l'assurance de l'avenir en cas de retraite;

Considérant que les fonds disponibles, qu'avec une stricte économie, le Comité est parvenu à réunir, seraient à peine suffisants pour les premières grandes dépenses de l'avenir;

Considérant que l'entrée de nouveaux États dans la Convention augmente les devoirs et les obligations du Bureau et diminue en même temps ses revenus, en transformant en travaux gratuits une partie des travaux jusque-là soumis à des taxes;

Il semble que la seule manière de pouvoir résoudre ces difficultés, sans peser sur les États qui font déjà partie de la Convention, consisterait à conserver pour les États de cette catégorie la contribution annuelle totale de 100000<sup>fr</sup> et la façon actuelle de calculer leurs parts contributives, mais à décider que, à partir de la prochaine Conférence, la contribution de tout État nouvellement adhérent sera comptée en dehors des 100000<sup>fr</sup> et égale à la somme qui serait versée par un État déjà adhérent ayant la même population.

*Le Rapporteur :*

A. ARNDTSEN.

*Le Président :*

F. DE P. ARRILLAGA.

M. le PRÉSIDENT constate que ce deuxième Rapport de la Commission des Comptes et des Finances contient quatre propositions différentes, dont chacune doit donner lieu à un vote séparé.

La première proposition, concernant les balances du Bureau, est adoptée sans observation.

La *deuxième* proposition, qui a trait aux comparateurs du Bureau, est également adoptée sans discussion.

Au sujet de la *troisième* proposition, qui fixe le budget des frais annuels pour les deux exercices 1912 et 1913, M. d'ARRILLAGA explique que la Commission s'est unanimement rangée au préavis de la Commission des Instruments et des Travaux, en ce qui concerne le rétablissement de la fonction et du titre d'Adjoint du Bureau international pour MM. PÉRARD et MAUDET. Pour tenir compte de cette augmentation et de quelques autres affectant également le Chapitre des frais du personnel, à partir du 1<sup>er</sup> avril courant, la Commission n'a pas trouvé de difficulté à augmenter d'une part de 4000 francs ces frais, et à diminuer de la même somme, dans quelques Chapitres, la prévision des dépenses pour lesquelles l'expérience des dernières années en a montré la possibilité.

M. GAUTIER, au nom de la Commission des Instruments et des Travaux, remercie vivement la Commission des Comptes et des Finances, d'avoir si heureusement résolu l'importante question dont le Comité lui avait confié la solution.

M. BLASERNA est heureux de voir aboutir cette question, qui a une grande importance pour le fonctionnement et l'avenir du Bureau.

M. le PRÉSIDENT met aux voix la nomination de MM. PÉRARD et MAUDET comme Adjoints du Bureau international des Poids et Mesures, avec le traitement annuel de 6000<sup>fr</sup> pour chacun, à partir du 1<sup>er</sup> avril 1911.

Cette proposition est adoptée à l'unanimité.

M. le PRÉSIDENT met ensuite aux voix le budget proposé par la Commission des Comptes et des Finances pour les exercices de 1912 et 1913, qui est adopté à l'unanimité.

M. le PRÉSIDENT met en discussion la *quatrième* proposition de la Commission, et attire toute l'attention du

Comité sur sa grande importance, aussi bien en ce qui concerne les considérants qu'en ce qui regarde les conclusions auxquelles elle aboutit.

M. d'ARRILLAGA explique que la Commission des Comptes et des Finances s'est préoccupée de l'avenir de toute l'Institution internationale, et a reconnu que, dans un temps assez rapproché, il sera tout à fait indispensable de procéder à de grandes améliorations. Le laboratoire devient de jour en jour plus insuffisant, et ses installations menacent de ne plus répondre aux exigences des derniers progrès de la science. La Caisse des retraites, telle qu'elle a été instituée en employant les faibles moyens qui étaient alors à la disposition du Comité, n'est pas capable d'assurer au personnel une pension de retraite digne de l'Institution internationale et en rapport avec les services rendus. Il est vrai que la troisième Conférence générale a décidé que, le cas échéant, tous les fonds disponibles peuvent être mis à la disposition de la Caisse des retraites. Mais ce double emploi des disponibilités n'est pas compatible avec le fonctionnement normal d'une institution.

M. d'ARRILLAGA ajoute qu'il ne faut pas, d'autre part, perdre de vue que chaque entrée d'un nouvel État dans la Convention entraîne l'exécution de nouveaux travaux de la part du Bureau, et que ces travaux devenant gratuits diminuent les ressources du Bureau par la cessation du paiement des taxes. Cette ressource perdue par le Bureau doit être compensée sous peine de troubler son bon fonctionnement. La Commission s'est attachée à remédier, au moins en partie, à ce déficit, en proposant que tous les États faisant dès maintenant partie de la Convention, continuent à payer leurs contributions sur la base de la dotation de 100000<sup>fr</sup> et selon le mode de répartition fixé par la quatrième Conférence générale; tandis que les contributions des nouveaux États, ainsi que celui des Colonies autonomes, qui feront adhésion à ladite Convention après la prochaine Conférence générale, constitueront une ressource

complémentaire pour le Bureau, tout en étant calculée sur un pied d'égalité complète avec les anciens États au point de vue de la population.

M. GAUTIER remercie la Commission des Comptes et des Finances d'avoir si bien interprété la pensée de tous les Collègues, et déclare être tout à fait d'accord avec la proposition de la Commission.

M. BLASERNA accepte entièrement les considérants apportés par la Commission et la proposition spéciale qu'elle présente. La Commission a très sagement agi en envisageant toute la question de l'avenir de l'Institution et des nécessités qui s'imposeront pour y faire face. La grande question de l'agrandissement du laboratoire et du perfectionnement de son outillage, ainsi que celle de la Caisse des retraites n'offre pas un caractère d'urgence immédiate, et le Comité pourra y revenir dans une occasion ultérieure. Mais il n'en est pas de même en ce qui concerne la création des ressources complémentaires pour les travaux. A ce point de vue, la Commission des Comptes et des Finances a trouvé la solution, et le bureau du Comité se fera un devoir de la formuler et de l'expliquer aux Gouvernements des Hautes Parties contractantes, en les priant de donner à leurs Délégués les instructions pour que la prochaine Conférence générale puisse délibérer valablement sur ce sujet.

M. le PRÉSIDENT met aux voix la *quatrième* proposition de la Commission, qui est adoptée à l'unanimité.

L'ensemble des quatre propositions est ensuite adopté.

M. EGOROFF estime qu'il serait bien désirable que les savants du Bureau international pussent avoir l'occasion et les moyens de visiter quelquefois les installations des Bureaux nationaux, et demande si le budget du Bureau international serait en état de pourvoir à cette dépense.

MM. GILL et de BODOLA désirent savoir quel serait le caractère d'une semblable visite.

M. FOERSTER répond que ce serait celui de visites scientifiques et d'information. Il ajoute que certaines visites de ce genre ont été déjà faites avec utilité, entre autres celle de M. Guillaume à Berlin, à l'occasion du Congrès international de Chimie appliquée, qui a été partiellement réalisée par les moyens du Bureau. Ces visites réciproques entre le Bureau international et les Bureaux nationaux présentent un réel intérêt, pour permettre de profiter des progrès réalisés dans l'un ou dans l'autre.

La motion de M. EGOROFF, ainsi comprise, est adoptée.

M. GUILLAUME reprend l'exposé, qu'il a commencé dans la seconde séance, de son rapport qui doit figurer comme annexe aux Procès-Verbaux.

La séance est levée à 5 heures un quart.



---

# PROCÈS-VERBAL

DE LA QUATRIÈME SÉANCE.

Vendredi 7 avril 1911.

PRÉSIDENTE DE M. FOERSTER.

---

Sont présents :

MM. ARNDTSEN, D'ARRILLAGA, BENOÎT, DE BODOLA, EGOROFF, FOERSTER, GAUTIER, GILL, HÉPITÉS, VON LANG, STRATTON.

M. GUILLAUME, invité, assiste à la séance.

La séance est ouverte à 3 heures.

Le procès-verbal de la troisième séance est adopté.

M. le PRÉSIDENT, constatant que l'ordre du jour porte la visite du Dépôt des prototypes, invite le Comité à se rendre au caveau. Cette visite donne lieu au procès-verbal suivant :

## Procès-Verbal.

Le 7 avril 1911, à 3 heures de l'après-midi, en présence des membres du Comité international présents à la séance de ce jour et du personnel scientifique du Bureau international, il a été procédé à la visite du Dépôt des prototypes métriques internationaux du Pavillon de Breteuil.

Conformément à une décision prise dans une précédente séance du Comité, on avait réuni les trois clefs qui ouvrent le Dépôt, et dont l'une reste confiée au Bureau, tandis que la deuxième est déposée aux Archives nationales, et la troisième aux mains du Président du Comité international.

Les deux portes de fer du caveau ayant été ouvertes, ainsi que le

coffre-fort qui contient les prototypes, on a constaté, dans ce dernier, la présence des prototypes métriques et de leurs témoins.

Sur les instruments météorologiques enfermés dans le coffre-fort, on a relevé les indications suivantes :

Thermomètre Tonnelot à mercure et alcool maxima et minima :

Température actuelle.....	10°,1
» maxima.....	11°,9
» minima.....	9°,2

Thermomètre Tonnelot à mercure :

Température actuelle.....	10°,4
---------------------------	-------

Hygromètre à cheveu..... 91 pour 100

On a constaté que la pression de l'air, dans le tube de laiton fermé contenant le témoin n° 13, était de 740<sup>mm</sup> inférieure à la pression atmosphérique de ce jour, c'est-à-dire qu'elle n'a pas sensiblement changé depuis que le témoin n° 13 a été réintégré dans le coffre-fort.

Conformément à une résolution prise par le Comité international, la Règle type I a été déposée dans le coffre-fort pour y rester comme témoin du Mètre prototype international; le Kilogramme n° 1, témoin du Prototype international, a été retiré du coffre-fort pour servir aux comparaisons décidées par le Comité.

On a alors refermé le coffre-fort ainsi que les portes du caveau.

**M. le PRÉSIDENT**, avant de continuer l'ordre du jour, invite **MM. PÉRARD** et **MAUDET** à assister à la séance, et leur adresse les paroles suivantes :

Je suis heureux, M. Pérard et M. Maudet, de pouvoir vous faire connaître que le Comité, sur la proposition de M. le Directeur et d'accord avec M. le Directeur-adjoint, a décidé de revenir aux situations et aux titres déjà anciennement créés de deux Adjoints et de vous attribuer cette situation et ce titre, avec une indemnité annuelle de 6000<sup>fr</sup> à chacun, à partir du 1<sup>er</sup> avril 1911.

Nous sommes persuadés que vous deux, MM. les Adjoints du Bureau international des Poids et Mesures, justifierez la confiance qui vous est témoignée par cette nomination, et que vous continuerez

à conserver à notre grande cause commune le dévouement et l'habileté dont vous avez jusqu'à présent donné tant de preuves.

Je vous prie, Messieurs, de bien vouloir assister à cette séance du Comité.

M. PÉRARD, en son nom et en celui de M. MAUDET, remercie vivement le Comité de l'honneur et du témoignage de confiance qu'il a bien voulu leur accorder, et dont ils apprécient la haute valeur. L'un et l'autre feront tous leurs efforts pour en rester dignes, et pour consacrer tout leur dévouement aux travaux qui leur seront confiés, sous l'éminente direction de MM. BENOÎT et GUILLAUME, auxquels ils doivent déjà tant de reconnaissance.

M. le PRÉSIDENT donne la parole à M. GAUTIER, rapporteur, pour présenter la deuxième partie du Rapport de la Commission des Instruments et des Travaux.

M. GAUTIER donne lecture du Rapport suivant :

#### Rapport de la Commission des Instruments et des Travaux.

##### (DEUXIÈME PARTIE.)

La Commission a encore tenu, les 3 et 5 avril, deux séances auxquelles ont assisté, outre les membres de la Commission, M. Foerster, Président du Comité, et MM. Benoît, Directeur, et Guillaume, Directeur-adjoint du Bureau international.

Au cours de ces séances, la Commission a discuté diverses questions nouvelles, et elle est revenue sur certaines données scientifiques qui lui avaient été communiquées dans les séances antérieures. Elle est arrivée aux constatations et aux propositions suivantes :

V. *Nouvelles recherches sur les aciers au nickel.* — La Commission a entendu avec un grand intérêt les communications de M. Guillaume. Elles ont porté sur divers genres de recherches, qui peuvent être résumés comme suit :

1° Les déterminations faites depuis plus de quatorze ans ont permis à M. Guillaume de tracer la courbe générale, disons définitive, des dilatabilités des aciers au nickel, qu'il s'agisse soit des alliages qu'on peut dire *normaux*, contenant seulement des additions métal-

lurgiques ordinaires de silicium, manganèse et carbone; soit des alliages contenant en outre du chrome ou des quantités anormales de manganèse. Il en a déduit, en fonction de la teneur, le coefficient de chrome et le coefficient de manganèse. Le même résultat a pu être obtenu pour le coefficient du terme quadratique.

Des déterminations, faites à douze ou treize ans d'intervalle, de la dilatation de diverses barres ayant subi, au début, des étuvages plus ou moins complets, ont révélé, pour toutes ces barres, une très légère augmentation de la dilatabilité avec le temps (0<sup>μ</sup>,11 par mètre et par degré, au maximum). Les variations sont d'autant plus faibles que les barres ont été originellement mieux étuvées.

2° Pour le *critérium d'écrouissage*, voir les détails donnés au rapport de M. Benoît (p. 45).

VI. *Étalons à bouts*. — En complément de ce qui a été dit dans le rapport de M. Benoît (p. 46), M. Guillaume a exposé à la Commission les résultats de ses recherches sur deux sortes d'acier propres à construire des étalons à bouts, savoir :

1° L'acier, non trempé ou trempé et revenu, employé par M. Johansson à Elskilstuna; 2° un acier à 7 pour 100 de nickel, qui prend une grande dureté par cémentation superficielle, et résiste beaucoup mieux que l'acier à l'oxydation.

Par un long étuvage à 100° et à 70°, on a obtenu sur ces quatre aciers les résultats suivants : l'acier Johansson sous ses deux formes s'est raccourci d'une façon continue, tandis que l'acier au nickel cémenté ou non cémenté a subi un raccourcissement suivi d'un allongement. Pour les 1000 dernières heures à 70°, succédant à un long étuvage à 100°, les variations ont été les suivantes :

Acier Johansson.....	}	trempé.....	— 3 <sup>μ</sup> ,0
		non trempé....	— 0,5
Acier au nickel.....	}	cémenté.....	+ 3,9
		non cémenté...	+ 1,1

M. Pérard, de son côté, a rendu compte à la Commission des travaux qu'il a consacrés à la détermination absolue, au moyen du comparateur universel, et aux comparaisons, au moyen du comparateur Hartmann, d'étalons à bouts sphériques de la Section technique de l'Artillerie ou de calibres cylindriques, ainsi que de ses premières recherches sur les étalons Johansson à bouts plans.

Les étalons à bouts sphériques, que M. Guillaume avait déterminés autrefois par la méthode des palpeurs, ont été repris par M. Pérard sur les indications de M. Benoît par la méthode d'Airy, consistant à abouter deux à deux au moins trois étalons, et à déterminer les distances des traits qu'ils portent. Les déterminations absolues ont été complétées par des étalonnages.

Le travail de M. Pérard est déjà très avancé, mais reste à achever en ce qui concerne les étalons à bouts plans.

La question des *étalons à bouts* en étant à ce degré d'avancement, le moment semble venu que le Bureau international se déclare prêt à aider les Bureaux nationaux dans l'étude de cet important problème métrologique.

La Commission propose donc au Comité que le Bureau international adresse une circulaire <sup>(1)</sup> aux Bureaux nationaux des Poids et Mesures pour leur demander de lui communiquer leurs expériences concernant les étalons à bouts, avec la description des types sur lesquels ont porté les mesures, et l'indication des formes qui leur paraissent les mieux appropriées à l'usage de ces étalons. Le Bureau considère que, pour rendre son aide à cet égard efficace et même possible, il faut amener une uniformité dans les types qui lui seraient soumis, cette uniformité s'appliquant soit à la forme, soit à la matière employée pour ces étalons à bouts.

VII. *Études demandées au Bureau international.* — Il résulte de la statistique fournie par M. Benoît dans son rapport (p. 32) sur l'accroissement graduel des demandes adressées au Bureau par des Gouvernements, par des établissements scientifiques ou par de simples particuliers, que l'activité du Bureau et de son personnel scientifique est de plus en plus mise à contribution par ce genre de travaux.

Certains Instituts scientifiques et certains Bureaux nationaux de poids et mesures ont même demandé, ces dernières années, un nombre exagéré d'études de ce genre. La Commission des Instruments et des Travaux, tout en reconnaissant que l'une des tâches du Bureau international est d'aider le développement des Instituts scientifiques nationaux, demande au Comité de chercher à diminuer les charges du Bureau dans ce sens, d'autant plus que les études

---

(1) Le texte de cette circulaire est donné en annexe au Rapport de la Commission.

prévues sur les étalons à bouts créeront une obligation nouvelle.

A cet effet, la Commission propose que le Comité adresse une circulaire à tous les Gouvernements, pour attirer leur attention sur la nécessité de limiter aux seuls cas exigeant réellement une haute précision métrologique la demande d'études à adresser au Bureau international.

La Commission n'entend pas, du reste, limiter par cette proposition l'initiative du Directeur du Bureau. Il restera libre d'accorder les demandes d'études dans tous les cas où il estimerait qu'elles rentrent dans l'une des attributions du Bureau : le perfectionnement des procédés de mesure aux fins d'assurer les progrès dans tous les domaines de la métrologie.

VIII. *Publications.* — Le *Tome XIV* a paru en octobre 1910. Il contient les trois importants Mémoires sur le *Volume du kilogramme d'eau* et le Mémoire de M. Chappuis : *Étude de l'influence de l'air dissous sur la densité de l'eau*, puis la *Conclusion* rédigée par M. Benoît.

Le *Tome XV* contiendra d'abord le Mémoire de MM. Benoît, Fabry et Perot sur *la Comparaison du Mètre aux longueurs d'ondes lumineuses*, puis le Compte rendu des séances de la quatrième Conférence générale et le travail de M. Guillaume sur *les récents Progrès du Système métrique*, tous deux déjà distribués en tirages à part. La Commission propose au Comité de laisser à M. le Directeur du Bureau international le soin de décider si ce Tome, ainsi constitué, sera assez volumineux. Si non, on pourrait y ajouter le Mémoire en préparation de M. Pérard, sur les étalons à bouts, précédé d'un Mémoire de M. Guillaume sur ses mesures antérieures concernant ces mêmes étalons à bouts. Si le Tome est assez volumineux, ces deux Mémoires paraîtraient dans le Tome XVI.

La Commission propose au Comité de joindre aux *Procès-Verbaux* de la présente session comme *Annexes* : 1° La Note de MM. Benoît et Guillaume résumant les résultats obtenus dans ces dernières années au moyen de fils d'invar, soit au Bureau, soit dans les opérations géodésiques exécutées en divers pays; ce serait un complément à la dernière (4<sup>e</sup>) édition de l'Ouvrage : *La mesure rapide des bases géodésiques*; 2° La Note de M. Guillaume, présentée au Comité sur *les récents Progrès du Système métrique* (2<sup>e</sup> suite); 3° Le compte rendu par M. Guillaume de ses études techniques sur le nouveau comparateur, dit *chinois*, construit sur ses plans, et dont

il a été question dans le rapport de M. Benoit (p. 34). Ces différentes Annexes seraient aussi largement distribuées comme tirages à part.

IX. *Communications scientifiques.* — A) *Spectre du néon.* —

La Commission a entendu avec un vif intérêt la lecture d'une communication de M. Stratton sur le spectre du néon et sur les avantages que les raies de ce spectre, spécialement la raie jaune de longueur d'onde  $\mu$ , 5852, présentent sur la raie rouge du cadmium pour les mesures interférentielles.

Ces avantages sont énumérés ci-après :

1° Cette radiation présente un haut degré d'homogénéité; elle a permis d'observer des phénomènes avec un ordre d'interférence supérieur à 300000. Ni par le spectroscopie à échelons, ni par l'interféromètre, on n'a pu y découvrir aucune satellite;

2° Elle est accompagnée, dans le même spectre, d'un nombre considérable d'autres raies ayant également un haut degré d'homogénéité, mettant à la disposition du physicien toutes les périodes souhaitables de coïncidence depuis 10 environ jusqu'à plusieurs centaines. La présence de cette quantité de bonnes raies donne au néon un avantage considérable sur le cadmium en interférométrie, parce qu'il facilite l'application de la méthode des coïncidences pour déterminer un ordre d'interférence. Avec le spectre du cadmium, le choix est extrêmement limité; et, en fait, la seule radiation rouge est de premier ordre quant à l'homogénéité;

3° Elle est située dans le spectre d'une façon plus favorable à la fois aux observations visuelles et aux travaux photographiques que la raie rouge du cadmium; et, sous une excitation pratiquement facile à réaliser, elle est plus brillante;

4° Sa longueur d'onde étant de 10 pour 100 environ plus courte que celle du cadmium, elle permet une précision plus grande dans la mesure d'une distance donnée;

5° La source est beaucoup plus commode à employer, parce qu'elle n'exige pas un chauffage préalable à haute température; elle a une vie plus longue, est moins sujette à accident, est plus régulière dans son fonctionnement. Une lampe à néon, une fois installée, ne demande plus aucun entretien; l'observateur est dès lors maître de concentrer son attention sur ses mesures, sans avoir à surveiller en même temps sa source de lumière;

Enfin, comme cette longueur d'onde est également bien adaptée pour servir d'étalon primaire et d'unité pratique pour le travail

courant, son emploi dispense de la nécessité d'une série d'étalons intermédiaires (tels par exemple que la raie verte du mercure dans les déterminations de MM. Fabry et Buisson).

La Commission a appris avec un intérêt très vif que M. Stratton se propose de refaire prochainement la comparaison du Mètre aux longueurs des ondes lumineuses en se servant de cette raie du néon.

B) *Mesurage des bois*. — M. Arndtsen, membre du Comité, a adressé au président de la Commission des Instruments et des Travaux, la lettre suivante :

**Sur l'unification des procédés de mesurage et calcul des bois.**

« La méthode de mesurer et de calculer la valeur du bois pour l'achat et la vente en gros présente, dans les différentes places, un désordre et une variabilité tout à fait embarrassants, desquels résulte une multitude d'inconvénients et de tracasseries.

« Il serait donc d'une grande utilité si l'on pouvait, à cet égard, s'accorder sur certains principes internationaux; et comme la Conférence générale des Poids et Mesures a déjà traité d'autres sujets d'ordre pratique comme le carat métrique, le filetage, etc., j'ai pensé que le Comité international voudrait peut-être prendre l'initiative dans cette question, en proposant à la Conférence générale de bien vouloir s'intéresser aussi à cette pratique internationale si importante.

« D'après l'avis de M. le Président du Comité, dans la dernière séance de celui-ci, j'envoie cette petite note à la Commission des Instruments et Travaux pour être discutée. »

A. ARNDTSEN.

Paris, le 3 avril 1911.

La Commission, après avoir entendu cette lecture, estimant que nul mieux que M. Arndtsen n'est à même de suivre l'étude de cette question, propose au Comité :

De prier M. Arndtsen de poursuivre l'enquête qu'il a commencée sur le mesurage du bois, et de bien vouloir préparer un rapport pour la prochaine session du Comité, avant la cinquième Conférence générale des Poids et Mesures.

*Le Rapporteur :*  
A. GAUTIER.

*Le Président :*  
VON LANG.

### CIRCULAIRE.

L'importance, de jour en jour croissante, des étalons à bouts comme auxiliaires de la construction mécanique, a conduit le Bureau international des Poids et Mesures à donner à leur étude une particulière attention. De nombreux étalons de longueurs diverses ont été déterminés avec une précision élevée, et déjà des copies possédant les valeurs les plus usuelles leur ont été comparées à la demande de plusieurs établissements nationaux de mesure, auxquels ils servent de types pour la vérification de séries secondaires, destinées à des opérations d'ajustage.

Le moment semble aujourd'hui venu d'organiser plus complètement ce travail, afin d'en accroître l'utilité; et c'est dans cette idée que le Comité international des Poids et Mesures a cru devoir engager le Bureau dont il a la haute direction, à faire connaître aux services nationaux chargés de la vérification précise des étalons de toutes natures, qu'il peut dès maintenant entreprendre la détermination d'étalons de longueur à bouts, en séries encore restreintes, remplissant certaines conditions qui ressortiront de l'exposé suivant :

Le rôle essentiel des étalons à bouts doit consister à assurer le contrôle des instruments de mesure employés surtout dans l'industrie. Or, pour la facilité des comparaisons, comme pour l'élimination des erreurs dues à la température, il est très utile, d'une part, que les étalons destinés à être comparés entre eux aient la même forme, et soient faits de la même matière; et, d'autre part, leur emploi ordinaire exige qu'ils puissent supporter, sans détériorations appréciables, des contacts répétés, et soient faits, en conséquence, en un corps dur et non fragile.

L'ensemble de ces conditions, auxquelles s'ajoutent celles qu'imposent les méthodes de mesure, ont amené à la création de types uniformes d'étalons constitués soit par des cylindres A (*fig. 5*) dont le diamètre représente la valeur, soit par des broches B terminées par des calottes sphériques, soit enfin par des lames ou plots C limités par des faces planes et parallèles.

Les cylindres sont destinés surtout à la mesure des faibles épaisseurs, les broches à bouts sphériques aux grandes longueurs, les lames ou plots à faces planes, indifféremment à toutes les dimensions.

Les cotes accessoires adoptées par le Bureau international pour les étalons des diverses espèces sont les suivantes :

Cylindres, longueur  $60^{\text{mm}}$ .

Broches, diamètre  $12^{\text{mm}}$ .

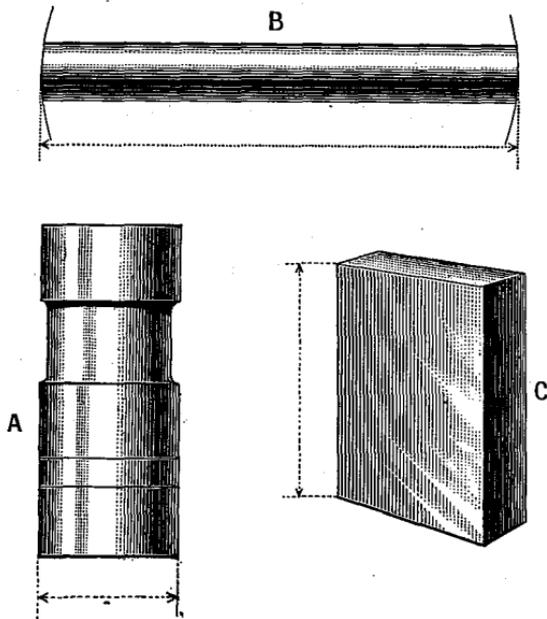


Fig. 5. — Types divers d'étalons à bouts : A, calibre cylindrique; B, broche à bouts sphériques; C, prisme à faces planes.

Pour la commodité de leur montage sur les appareils de mesure, les cylindres portent, à leurs extrémités, deux trous de centre à évasement conique. Les dispositifs ci-dessus ont été arrêtés, pour les deux premiers genres d'étalons, d'accord avec la Section technique de l'Artillerie de l'armée française. Pour les lames et plots, le Bureau n'a encore fixé aucune dimension accessoire.

Il importe maintenant, pour accroître les services que le Bureau international est susceptible de rendre, qu'il ait connaissance des dispositifs adoptés par d'autres établissements, et qu'il serait susceptible d'accepter à son tour, si un examen approfondi en démontrait la supériorité. C'est pourquoi il serait très utile que les Instituts nationaux dans lesquels des études analogues ont déjà été faites,

voulussent bien en communiquer au Bureau international les résultats, et suggérer tout perfectionnement qui pourrait leur sembler désirable dans ce domaine. Ainsi, une étude d'ensemble pourrait conduire à formuler à bref délai des propositions en vue d'une unification internationale des types, assurant une plus grande facilité des déterminations et une plus haute précision des valeurs fournies par les étalons.

En ce qui concerne la matière des étalons, le choix de l'acier s'est imposé en raison de la dureté qu'il prend par la trempe, pratiquée sur une faible épaisseur à partir des surfaces utilisées; puis aussi parce que les étalons ainsi construits, destinés essentiellement à l'ajustage de pièces d'acier, dispensent des calculs qu'entraînerait l'emploi d'étalons d'une dilatation différente.

Or, on sait que l'opération de la trempe fait naître dans l'acier une instabilité que le revenu ne semble pas complètement annuler. Il sera donc nécessaire, pour maintenir l'unification réalisée par la comparaison internationale des étalons à bouts, de prévoir, au moins jusqu'à ce que les limites de leur variabilité aient été fixées, des comparaisons périodiques auxquelles seraient soumis un petit nombre d'étalons des séries appartenant aux établissements nationaux. Les comparaisons répétées des étalons à bouts entraîneraient ainsi la création, au Bureau international, d'un service analogue à celui qui existe pour la détermination des fils destinés à la mesure des bases, et qui est hautement apprécié des géodésiens.

Le détail des considérations auxquelles donne lieu l'étude et l'emploi des étalons à bouts est exposé dans la brochure ci-jointe <sup>(1)</sup>, qui, bien que datant déjà de deux ans, représente encore sensiblement l'état de la question à l'époque actuelle. Elle est donc utile à connaître, en vue des demandes de déterminations ou des communications diverses à adresser au Bureau international.

Comme il importe, dans la rapide extension que prennent les étalons à bouts, de créer une entente avant qu'aient pu se répandre et se multiplier des types d'une utilité contestable, et qui seraient ensuite remplacés par des modèles définitivement adoptés, nous prions les Établissements que la question intéresse, d'entrer sans retard en relations avec le Bureau international, en vue de partici-

---

(1) CH.-ÉD. GUILLAUME, *L'état actuel de la question des étalons à bouts* (Annexe aux Procès-verbaux des séances du Comité international des Poids et Mesures, session de 1909).

per à l'unification désirée. En échange, le Bureau tiendra ces Établissements au courant de tous les progrès de la question, et leur communiquera les décisions auxquelles pourraient conduire les études et discussions à venir.

M. le PRÉSIDENT met successivement aux voix chacune de ces propositions, qui sont toutes adoptées sans observation.

L'ensemble du Rapport est ensuite adopté à l'unanimité.

M. GUILLAUME informe le Comité qu'on procédera prochainement à Neuchâtel à l'inauguration des salles de l'Observatoire, construites, suivant le vœu exprimé par le Dr Hirsch, au moyen du legs qu'il a institué dans ce but. Le buste de l'éminent Dr Hirsch qui, Directeur de l'Observatoire de Neuchâtel, a été en même temps et pendant un quart de siècle Secrétaire du Comité international des Poids et Mesures, sera également inauguré au cours de cette solennité.

M. le PRÉSIDENT propose au Comité de s'associer à cette commémoration, et de charger son bureau d'envoyer un télégramme de participation.

M. GAUTIER, en sa qualité de Directeur de l'Observatoire de Genève et de Membre du Comité assistera sans doute à cette inauguration, et se fera un honneur d'y être l'interprète du Comité. Cette proposition est adoptée.

M. le PRÉSIDENT annonce qu'une autre commémoration aura probablement lieu, en l'honneur du Général Ibañez, à Nice, où l'éminent premier Président du Comité international des Poids et Mesures est mort, il y a vingt ans. M. Foerster a eu l'honneur d'être le successeur immédiat du regretté Général, et en cette qualité il demande d'être autorisé à s'associer, au nom du Comité et du Bureau, à cette commémoration.

La proposition est adoptée.

M. STRATTON est heureux de pouvoir communiquer au

Comité une nouvelle qui lui parvient et qui marque un progrès réel dans le développement du Système métrique. Une loi récente a décidé que l'unité des monnaies des Etats-Unis d'Amérique sera basée dorénavant sur la masse du kilogramme.

M. le PRÉSIDENT, constatant que l'ordre du jour de la session est épuisé, demande au Comité de se prononcer sur la date de la prochaine session du Comité, qui doit être combinée avec celle de la cinquième Conférence générale. Le Comité, selon l'usage adopté, décide que la Conférence générale sera convoquée pour le mois d'octobre 1913, et donne à son bureau la faculté de fixer la date précise, tant pour la Conférence elle-même que pour la session du Comité.

M. GAUTIER ne voudrait pas laisser clore la session, sans remercier, au nom des Collègues et en son propre nom, MM. le Président et le Secrétaire du Comité, et aussi MM. les Directeurs du Bureau pour la manière si courtoise avec laquelle ils ont dirigé et facilité la tâche du Comité.

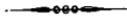
M. le PRÉSIDENT exprime sa gratitude en même temps que celle de MM. BLASERNA, BENOÎT et GUILLAUME, et il déclare close la session de 1911.

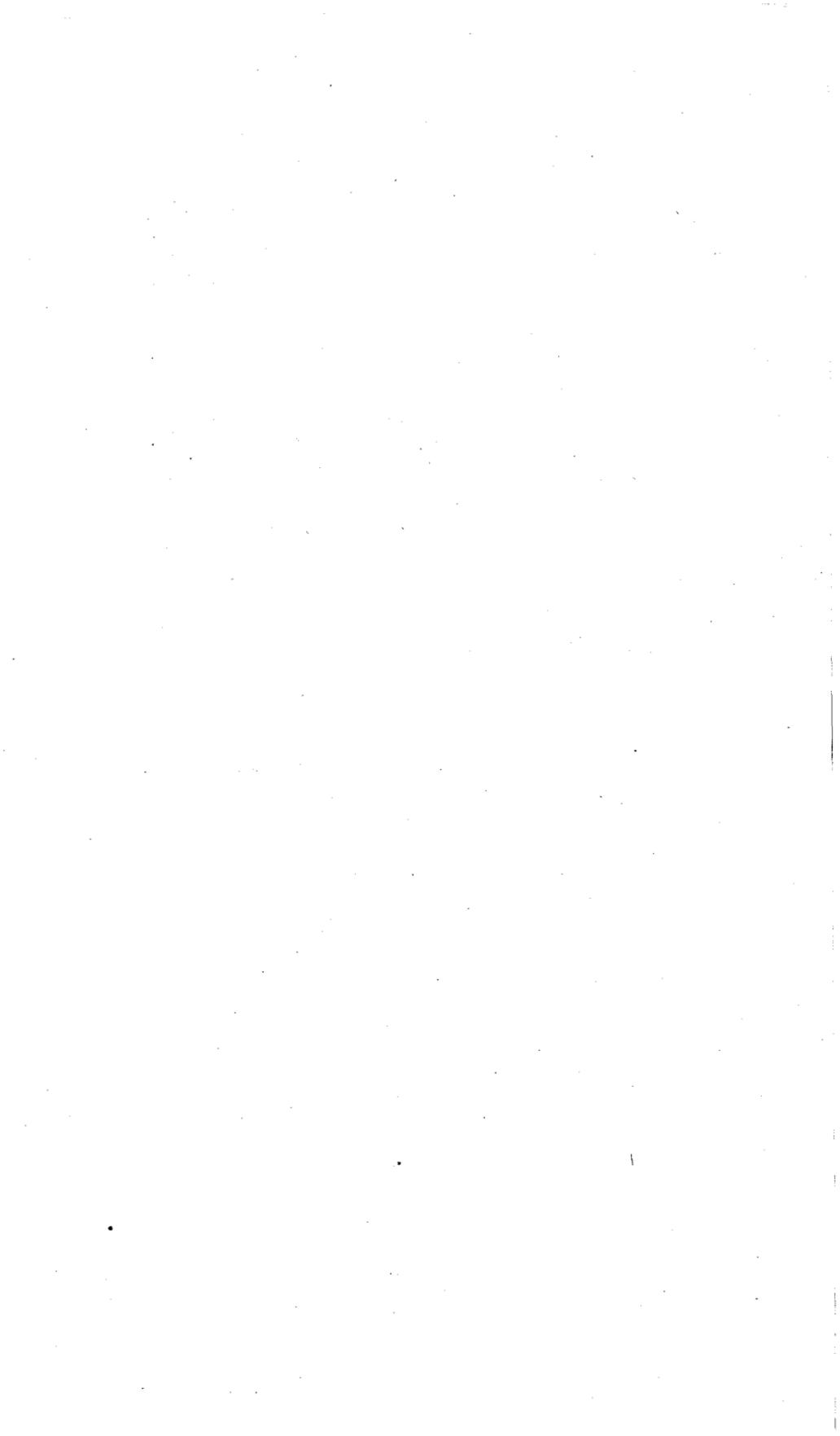
La séance est levée à 5 heures.

Pour approbation des Procès-Verbaux,  
Au nom du Comité :

*Le Secrétaire,*  
BLASERNA.

*Le Président,*  
FOERSTER.

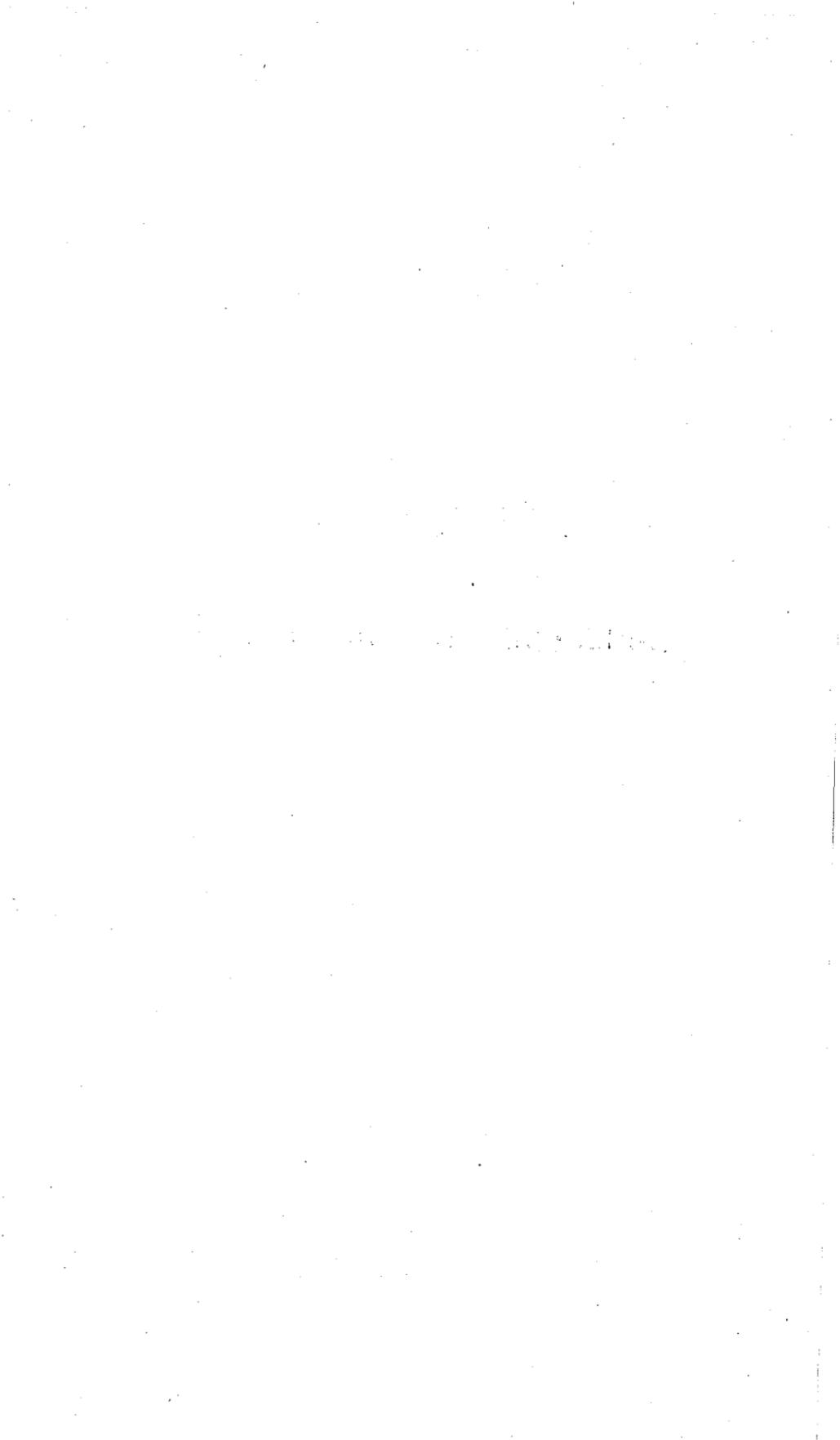




# ANNEXES

AUX

PROCÈS-VERBAUX DE 1911.



---

## ANNEXE I.

---

### NOTE SUR LES EXPÉRIENCES RÉCENTES

FAITES A L'AIDE DES

### FILS GÉODÉSIQUES EN INVAR,

Par J.-René BENOIT et Ch.-Éd. GUILLAUME.

---

Les déterminations de fils d'invar, poursuivies sans interruption au Bureau international en vue de satisfaire aux demandes des Services géodésiques des diverses nations, nous ont permis de rassembler des données très étendues concernant leur tenue dans le cours du temps ou sous des influences diverses, accidentelles ou systématiquement exercées. Souvent, après une campagne géodésique de plus ou moins longue durée, des fils sont revenus au Bureau en vue d'une nouvelle détermination de leur valeur ; mais aussi les comparaisons qui en ont été faites à dessein au cours de la mesure d'une base, ou qui sont résultées du fait qu'une même base avait été déterminée consécutivement à l'aide de plusieurs fils, ont pu renseigner, à diverses reprises, sur leurs valeurs relatives et sur le degré de leur conservation. D'intéressants documents sur de semblables comparaisons nous ont été communiqués par les opérateurs, ou ont été publiés par leurs soins. Nous rassemblerons dans cette Note toutes les données relatives aux déterminations réitérées des fils exécutées au Bureau, et résumerons celles qui, en dehors de nos propres mesures, sont parvenues à notre connaissance.

I. — LES VARIATIONS NORMALES DES FILS.

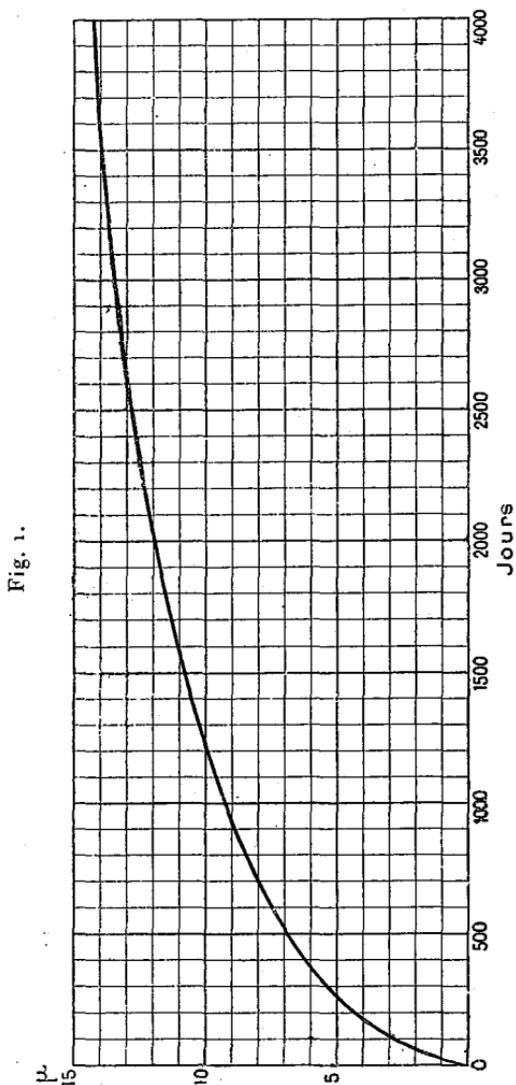
Nous rappellerons d'abord que l'invar, quelle que soit la forme à laquelle il a été amené, éprouve, dans le cours du temps, des modifications moléculaires, qui se traduisent par une variation lente de son volume. La trempe, le travail à froid, les chauffes répétées modifient les lois de cette variation. Mais, lorsqu'un échantillon quelconque d'invar a été soigneusement étuvé, c'est-à-dire exposé pendant deux ou trois mois à des températures régulièrement décroissantes, depuis 100° jusqu'à 25° environ, ses changements aux températures ordinaires sont représentés en fonction du temps par une courbe bien régulière, dont la forme a pu être déterminée avec précision par l'étude de règles-étalons, et qui régit également les changements éprouvés par les fils. Cette courbe a été insérée dans notre Ouvrage : *La Mesure rapide des Bases géodésiques*; nous la reproduisons ici (fig. 1).

Possédant les données synthétisées dans ce diagramme, on peut les utiliser pour calculer à tout instant la longueur d'un étalon d'invar, si l'on connaît la date à laquelle s'est terminé son étuvage et l'époque de sa dernière détermination. La courbe ci-contre correspond à un étuvage arrêté à 40°; s'il est poussé jusqu'à 125°, l'origine devra être prise au point dont les coordonnées sont 100 jours et 3 $\mu$ . On comptera donc, à partir de ce point, le temps écoulé jusqu'à la détermination de l'étalon, et l'on marquera sur la courbe un nouveau point, qui sera l'origine admise pour le calcul ultérieur des longueurs.

Des circonstances exceptionnelles, telles qu'une exposition prolongée à une température relativement élevée, peuvent modifier l'allure des changements qui nous occupent; dans un cas semblable, une nouvelle détermination directe d'un étalon sera nécessaire, s'il s'agit de connaître sa longueur à un ou deux millièmes près.

Au surplus, la vitesse du changement d'un acier au nickel est une fonction assez rapide de la teneur; en effet, à partir de 30 pour 100 de nickel environ, les alliages possèdent une stabilité d'autant plus grande que leur teneur en nickel est plus élevée; à 42 pour 100, la stabilité est pratiquement parfaite; et, entre les limites de teneur admissibles pour l'invar proprement dit — 35 à 36 pour 100 de nickel environ —, la stabilité croît assez rapidement

pour que l'allure de la courbe puisse se modifier encore d'une manière appréciable.



Variations, en microns par mètre, d'une barre d'invar préalablement étuvée de 100° à 40°, et conservée ensuite à la température ambiante.

On sait, d'autre part, que des secousses énergiques diminuent la longueur des fils, et le battage systématique a été introduit parmi

les opérations préliminaires auxquelles un fil géodésique doit être soumis. Des secousses modérées sont, dans la suite, sans effet sur sa longueur, et nous avons trouvé que même des voyages au long cours sont supportés par les fils sans changements nettement mesurables (1). Mais des secousses trop rudes ou trop souvent répétées peuvent, sans aucun doute, produire une suite des effets du battage, et provoquer un raccourcissement supplémentaire; il en est de même, naturellement, de tout accident ayant pour effet la formation d'un pli ou d'une courbure anormale d'un fil. Toutefois, nous avons reconnu à plus d'une reprise qu'un fil portant des plis bien visibles est ramené à sa longueur primitive par un redressement de ceux-ci, effectué simplement en faisant glisser, le long de la courbure anormale de manière à la redresser, la pince naturelle que l'on forme en serrant le pouce contre la partie moyenne de l'index, procédé que connaissent bien les mécaniciens.

Telles sont les indications générales que nous ont suggérées des expériences souvent répétées; les observations dont nous allons rendre compte nous donneront l'occasion de les compléter par quelques détails particuliers.

## II. — ACTION D'UNE TENSION PROLONGÉE.

Dès le début de nos études, nous avons soumis des fils à des tensions de plus ou moins longue durée, qui nous avaient permis d'ébaucher le réseau des courbes de variation en fonction de la charge et du temps pendant lequel elle agit. Les résultats de ces expériences ne pouvaient rien avoir d'absolu, puisque les déformations mécaniques des fils dépendent de leur degré d'écrouissage. Elles avaient fait apparaître, dans des conditions d'écrouissage moyen, les premières traces d'une déformation permanente vers une charge de 20 kilogrammes-force; mais il n'avait pas été fait d'expériences de longue durée sous la charge normale des mesures.

Une semblable expérience a été entreprise sur la proposition de Sir David Gill, Membre du Comité international. Un fil a été soumis d'abord, de semaine en semaine, à des déterminations entre lesquelles il restait simplement suspendu au râtelier. Puis il a été exposé à une tension constante de 10 kilogrammes-force, et mesuré une

---

(1) *La Mesure*, etc., p. 132.

fois par mois. Étendu de nouveau pendant quatre mois, il a été remis sous tension, et mesuré, de mois en mois, pendant plus d'une année. Enfin, il a été abandonné sans tension, et mesuré encore de semaine en semaine.

Dans le Tableau suivant, qui résume tout ce travail, la première colonne des résultats contient les valeurs du fil ramenées à 15°, mais non corrigées des changements normaux dans le cours du temps. Dans la deuxième colonne, ces résultats ont subi la correction lue sur la courbe (*fig. 1*). Le point initial, correspondant à la fin de l'étuvage à 25°, était le 15 février 1908.

*Fil n° 275.*

Dates.	Traitement.	Nombre de détermi- nations.	Valeurs à 15°.	
			Brutes.	Réduites.
			<small>m</small> <small>mm</small>	<small>m</small> <small>mm</small>
7-28 Nov. 1908.	Étendu	5	24-0,04	24-0,04
5 Déc.        »	»	5	-0,02	-0,03
4 Janvier 1909.				
12 Juin       »	»	5	+0,01	-0,02
3 Juillet     »				
25 Sept.     »	4 semaines sous 10 <sup>kg</sup>	1	+0,03	-0,01
30 Octobre  »	9        »	1	+0,06	+0,02
25 Nov.     »	13       »	1	+0,04	-0,01
31 Déc.     »	18       »	1	+0,01	-0,04
8 Janvier 1910.	Étendu	5	+0,04	-0,02
26 Fév.     »				
26 Mars     »	4 semaines sous 10 <sup>kg</sup>	1	+0,06	0,00
30 Avril    »	9        »	1	+0,07	+0,01
28 Mai     »	13       »	1	+0,08	+0,01
25 Juin     »	17       »	1	+0,09	+0,02
6 Août     »	23       »	1	+0,07	0,00
24 Sept.    »	30       »	1	+0,09	+0,01
29 Oct.     »	35       »	1	+0,07	-0,01
26 Nov.     »	39       »	1	+0,08	0,00
31 Déc.     »	44       »	1	+0,08	0,00
28 Janv. 1911.	48       »	1	+0,07	-0,01
25 Mars     »	56       »	1	+0,06	-0,02
1 <sup>er</sup> -29 Avril  »	Étendu	5	+0,06	-0,02
6-20 Mai    »	»	3	+0,07	-0,01

Les nombres corrigés permettent à peine de reconnaître une variation du fil. La première période de tension, de quatre mois, semblerait avoir provoqué un raccourcissement, fort improbable d'ailleurs ; on attribuera plutôt la faiblesse du dernier nombre de cette période à une erreur d'observation nullement exagérée. Pour la suite, si même on peut soupçonner, dans les quatre premières semaines de la deuxième période de tension, un allongement inférieur au millionième, on est forcé d'admettre que, jusqu'à la fin de l'épreuve, le fil s'est maintenu invariable. Au total et pendant toute la durée de l'expérience, qui s'est étendue sur plus de deux ans, il est difficile d'affirmer que les écarts entre les résultats excèdent les erreurs des observations.

### III. — COMPARAISONS RÉPÉTÉES AU BUREAU INTERNATIONAL.

Les déterminations exécutées au Bureau international ont été faites par des comparaisons avec notre base murale, auxquelles MM. Tarade et Maudet ont successivement participé. Chaque comparaison individuelle avec la base a consisté en dix comparaisons partielles, faites par groupes de cinq, avec échange des observateurs.

Notre Ouvrage contient les résultats de plusieurs déterminations ainsi faites sur des fils dans l'intervalle des campagnes géodésiques ; mais nous avons toujours, jusqu'ici, donné leurs valeurs brutes, alors que, dans ce qui suit, ces valeurs ont été ramenées, ainsi qu'il a été fait pour le fil n° 273, à l'époque initiale, en utilisant les données de la courbe (*fig. 1*). Nous reviendrons dans la suite sur l'interprétation à donner aux résultats ainsi corrigés.

Les nombres portés aux certificats des fils, comme ceux que nous avons publiés jusqu'ici, résultent généralement d'une moyenne de dix déterminations faites à des intervalles d'une semaine, et entre lesquelles les fils ne sont soumis à aucune manipulation. Dans ce qui suit, nous donnons les valeurs moyennes trouvées dans les groupes consécutifs de cinq déterminations, afin de permettre d'apprécier la concordance des groupes entre eux.

1. *Fils du Service géographique de l'Armée française.* — Les valeurs brutes de ces fils ont été données déjà dans notre Ouvrage (p. 127), jusqu'à l'époque de son apparition ; nous en reprenons le Tableau, en le complétant. Les valeurs réduites repro-

duites ci-dessous sont consécutives aux opérations suivantes, dans lesquelles les trois fils ont été employés chaque fois : Base de Viviate, 8717<sup>m</sup>; Base de Cavoussi, 7919<sup>m</sup>; bases de Tunis (1<sup>er</sup> segment), 3043<sup>m</sup>, et de Médenine, 10157<sup>m</sup>; bases de Blida, 10000<sup>m</sup>, et d'Oran, 9364<sup>m</sup>.

Dates.	Traite- ment.	Nombre de déter- minations.	Fils — 24 <sup>m</sup> .		
			13.	14.	15.
Oct.-Nov. 1904..	Étendus	5	<sup>mm</sup> +0,25	<sup>mm</sup> -1,42	<sup>mm</sup> +0,14
Janvier 1905....	»	5	+0,21	-1,45	+0,14

Restés enroulés librement pendant deux mois.

Avril 1905.....	Étendus	5	+0,22	-1,40	+0,11
Mai 1905.....	»	5	+0,24	-1,38	+0,12

Restés enroulés librement pendant quatre mois.

Septembre 1905.	Étendus	5	+0,24	-1,35	+0,16
Sept.-Oct. 1905..	»	5	+0,21	-1,36	+0,13

Mesure de la base de Viviate (Équateur).

Août-Sept. 1906..	Étendus	7	-0,01	-1,53	-0,14
Sept.-Oct. 1906..	»	5	+0,01	-1,49	-0,10

Restés enroulés librement pendant quatre mois.

Fév.-Mars 1907..	Étendus	5	+0,02	-1,53	-0,14
Mars-Avr. 1907..	»	5	+0,01	-1,57	-0,13

Rectifié les réglettes (1).

Avril-Mai 1907...	Étendus	5	0,00	-1,47	-0,10
Mai-Juin 1907...	»	5	+0,01	-1,49	-0,07

---

(1) Un fil étant tendu, l'arête de chaque réglette doit prolonger la direction de son axe. Or il arrive assez fréquemment qu'après une campagne, les réglettes s'écartent légèrement de cette direction. Lorsqu'une semblable déviation est constatée sur un fil, nous déterminons en général sa valeur dans l'état où il arrive au Bureau; puis nous rectifions la direction des réglettes, et nous faisons une nouvelle série de mesures.

Enroulés sur tambour et envoyés au Service géographique ;  
rentrés au Bureau sans avoir été déroulés.

Oct.-Nov. 1907..	Étendus	3	<sup>mm</sup> 0,00	<sup>mm</sup> -1,51	<sup>mm</sup> -0,12
------------------	---------	---	-----------------------	------------------------	------------------------

Mesure de la base de Cavoussi (Crète).

Mars-Avril 1908..	Étendus	5	-0,55	-1,66	-0,36
Avril-Mai 1908 ..	»	5	-0,60	-1,69	-0,38

Rectifié les fils et les réglettes.

Mai-Juin 1908 ...	Étendus	5	-0,46	-1,73	-0,38
Juin-Juillet 1908.	»	5	-0,46	-1,73	-0,38

Mesure des bases de Tunis et de Médenine.

Janv.-Févr. 1909.	Étendus	5	-0,26	-1,42	-0,32
Février 1909....	»	5	-0,25	-1,44	-0,34

Rectifié les réglettes.

Févr.-Mars 1909.	Étendus	»	-0,27	-1,44	-0,35
Mars 1909.....	»	»	-0,25	-1,42	-0,35

Enroulés sur tambour et envoyés au Service géographique ;  
revenus sur de nouveaux tambours.

Janvier 1910 ....	»	4	-0,79	-1,92	-0,40
-------------------	---	---	-------	-------	-------

Mesure des bases de Blida et d'Oran.

Avril-Mai 1910 ..	»	5	-0,57	-1,67	-0,30
Mai-Juin 1910...	»	5	-0,54	-1,63	-0,28

Les variations qui ressortent de ce Tableau, et sur lesquelles il a été beaucoup discuté (1), présentent une marche assez irrégulière. Tandis que les deux premières périodes de leur enroulage n'ont affecté que l'un d'entre eux d'une quantité appréciable, ils ont varié

---

(1) Comptes rendus des séances des quatorzième (Budapest, 1906) et quinzième (Londres, 1909) Conférences générales de l'Association géodésique internationale.

tous trois assez sensiblement au cours de la campagne de l'Équateur. Un nouveau repos de quatre mois ne les a pas sensiblement modifiés, à l'exception peut-être de l'un d'eux, le n° 14, qu'une rectification des réglettes a ramené vers son ancienne valeur. Enroulés et envoyés au Service géographique, ils sont revenus sans avoir été déroulés, pour une vérification rapide avant le départ pour une campagne; leurs valeurs étaient alors identiques aux précédentes. Les mesures en Crète leur ont fait subir de fortes variations, dont l'une s'est trouvée atténuée par une rectification des réglettes. Après la campagne de Tunisie, ils sont revenus vers leur précédente valeur et n'ont pas été modifiés de façon appréciable par une rectification des réglettes. Un enroulage sur de nouveaux tambours, pratiqué au Service géographique, en a raccourci deux de quantités notables; enfin, les mesures de bases faites en Algérie leur ont fait subir des allongements sensibles.

Nous devons nous borner à enregistrer ces résultats, dont les causes n'ont pas été parfaitement élucidées; les trois fils ont montré une assez grande stabilité relative dans certaines périodes, avec de brusques variations à d'autres moments; une insuffisance du traitement initial et l'enroulage sur un trop petit diamètre ont été invoqués pour expliquer leurs changements. Mais il semblerait que, dans ce cas, ceux-ci auraient dû se produire toujours dans le même sens; et l'on s'expliquerait difficilement, dans cette hypothèse, les longues périodes de stabilité malgré des enroulages libres ou sur tambour.

Trois autres fils ont été remis au Service géographique au commencement de l'année 1910. Après des mesures de bases en Algérie, ils sont revenus au Bureau, où ils ont subi une nouvelle détermination. Leurs valeurs sont rassemblées ci-après :

Dates.	Trai- tement.	Nombre de détermi- nations.	Fils — 24 <sup>m</sup> .		
			306.	307.	308.
			mm	mm	mm
Mai 1909...	Étendus	5	— 0,15	+ 1,21	+ 0,13
Juin-Juillet »	»	5	— 0,15	+ 1,23	+ 0,14
Mesure des bases de Blida et d'Oran.					
Avril-Mai 1910...	Étendus	5	— 0,34	+ 1,38	+ 0,13
Mai-Juin »	»	5	— 0,34	+ 1,40	+ 0,17

L'un des fils a donc conservé à très peu près la même longueur; pour les deux autres, les écarts sont de sens contraires, et légèrement plus faibles que ceux des fils de la première série pendant la même période.

2. *Service géographique de l'Afrique occidentale française.* — Nous avons mentionné déjà dans notre Ouvrage (p. 124), la variation tout à fait anormale du fil n° 5, appartenant à ce Service, et qui, battu sous forme de couronne, s'était raccourci de 1<sup>mm</sup>,5 environ, alors que le deuxième fil, n° 6, stabilisé par les procédés ordinaires et employé en même temps que le premier, n'avait subi que l'allongement normal. Un battage supplémentaire du premier fil produisit un nouveau raccourcissement de 0<sup>mm</sup>,5; après quoi, les deux fils furent soumis à une série complète de déterminations, puis enroulés librement, mesurés à nouveau, et renvoyés à la Côte d'Ivoire.

A leur retour au Bureau, après trois ans, ils furent trouvés insuffisamment emballés, ballottant dans leur caisse, et portant de nombreuses taches de rouille. Après une détermination complète, on rectifia la direction des réglottes et l'on fit subir aux fils un polissage au papier d'émeri fin. Le Tableau suivant contient les valeurs trouvées à partir du second battage du fil n° 5 :

Dates.	Traitement.	Nombre de déter- minations.	Fils — 24 <sup>m</sup> .	
			5.	6.
			<small>mm</small>	<small>mm</small>
Déc. 1905-Janv. 1906.	Étendus	5	-9,03	-3,27
Janvier 1906.....	»	5	-9,00	-3,26
Restés enroulés pendant cinq mois.				
Juin 1906.....	Étendus	5	-9,00	-3,32
Juin-Juillet 1906.....	»	5	-9,00	-3,30
Mesures de bases à la Côte d'Ivoire; emballage défectueux pour le retour.				
Août 1909.....	Étendus	5	-9,12	-3,47
Mai » .....	»	5	-9,10	-3,49
Rectification des réglottes; polissage des fils.				
Juin 1909.....	Étendus	5	-8,95	-3,37
Juin » .....	»	5	-8,89	-3,37

L'allongement que révèlent les dernières mesures peut être attribué soit à la rectification des réglottes, soit au polissage des fils. Dans le premier cas, ces derniers supposés non altérés devraient retrouver leurs anciennes valeurs; dans le second, une valeur plus forte. En réalité, l'un d'eux s'est allongé, l'autre raccourci, mais tous deux de petites quantités.

3. *Service hydrographique de la Marine française et expéditions coloniales.* — A diverses reprises, des fils ont été étudiés à la demande du Service hydrographique de la Marine française, soit pour ses propres travaux, soit pour des mesures effectuées par le Ministère des Colonies, dont il conserve les instruments.

Deux fils, entrés au Bureau en février 1906, y sont restés jusqu'en mai 1908. Dans cet intervalle, ils furent soumis à trois séries de déterminations, séparées par des périodes de repos à l'état enroulé. Remis au Service hydrographique en septembre 1909, ils revinrent au Bureau en mai 1910, librement enroulés, après avoir servi à mesurer des bases téléométriques de 1 km environ à Brest (2 bases), Cherbourg et Bizerte. Voici le résumé de leurs valeurs :

Dates.	Traite- ment.	Nombre de déter- minations.	Fils — 24 <sup>m</sup> .	
			110.	111.
Mai 1906.....	Étendus	5	—0,25 <sup>mm</sup>	—0,53 <sup>mm</sup>
Mai-Juin 1906.....	»	5	—0,26	—0,55
Restés enroulés pendant 20 mois.				
Févr.-Mars 1908.....	Étendus	5	—0,28	—0,58
Avril-Mai 1908.....	»	5	—0,29	—0,56
Restés enroulés pendant 16 mois.				
Sept.-Oct. 1909.....	Étendus	5	—0,22	—0,45
Oct. 1909.....	»	5	—0,24	—0,46
Mesures de bases à Brest, Cherbourg et Bizerte.				
Mai-Juin 1910.....	Étendus	5	—0,24	—0,49
Juin-Juillet 1910.....	»	5	—0,27	—0,47

La variation des fils due à leur emploi en campagne est restée de l'ordre du millionième.

Trois autres fils, entrés au Bureau au commencement de 1908, servirent, après leur première étude, à des mesures de bases effectuées par la Mission de délimitation du Togo-Dahomey. Revenus au Bureau en février 1910, ils furent déterminés à nouveau, puis subirent une légère rectification de la direction des réglettes, immédiatement suivie d'une nouvelle détermination. Pour le transport, ils étaient enroulés sur un tambour.

Dates (1).	Traite- ment.	Nombre de déter- minations.	Fils — 24 <sup>m</sup> .		
			207.	208.	242.
Mars-Avr. 1908 . . . . .	Étendus	5	<sup>mm</sup> —1,26	<sup>mm</sup> —1,39	<sup>mm</sup> —0,60
Avril-Mai . . . . .	»	5	—1,25	—1,38	—0,59

Mesures de bases par la Mission de délimitation Togo-Dahomey.

Fév.-Mars 1910 . . . . .	Étendus	5	—1,36	—1,41	—0,55
Mars-Avr. 1910 . . . . .	»	5	—1,35	—1,41	—0,56

Rectification des réglettes.

Avr.-Mai 1910 . . . . .	Étendus	5	—1,28	—1,39	—0,51
Mai-Juin 1910 . . . . .	»	5	—1,29	—1,39	—0,50

Deux des fils, une fois réparés, ont donc retrouvé leurs anciennes valeurs au millionième près. Le troisième a subi un faible allongement.

Deux fils employés dans une mesure de base à Madagascar avaient subi antérieurement des traitements sensiblement différents; le premier avait été seulement étudié à la manière ordinaire, tandis que le second avait servi à l'instruction du personnel en vue de la mesure de la base du Simplon, dont il sera question plus loin, et à la détermination, faite de nuit, d'une base de 1<sup>km</sup> sur une voie ferrée.

Enroulé sur un tambour, pour être expédié à Madagascar, ce fil subit au retour un accident en apparence assez grave. La manivelle du tambour, qui s'était détachée en cours de route, avait produit une forte courbure au voisinage d'une des réglettes; une mesure rapide

---

(1) Les dates diffèrent légèrement pour la première détermination des trois fils.

montra que le fil s'était ainsi raccourci de deux à trois dixièmes de millimètre. Une série plus complète fut entreprise après réparation de la courbure.

Au cours de la campagne, les réglettes avaient été légèrement attaquées par la rouille; après un nettoyage, on fit une dernière détermination des deux fils. Les résultats reproduits ci-après montrent que les fils ont très peu varié, toutefois avec une faible tendance à l'allongement dans le cours du temps :

Dates.	Traitement.	Nombre de déterminations.	Fil 50 — 24 <sup>m</sup> .
Mai 1906.....	Étendu	5	+0,83 <sup>mm</sup>
Mai-Juin 1906....	»	5	+0,86

Mesure d'une base à Madagascar.

Avril-Mai 1910....	Étendu	5	+0,82
Mai-Juin 1910....	»	5	+0,87

Dérouillé les réglettes.

Juin-Juillet 1910..	Étendu	5	+0,90
---------------------	--------	---	-------

Fil 64 — 24<sup>m</sup>.

Janvier 1906.....	Étendu	5	+0,64 <sup>mm</sup>
Janvier 1906.....	»	5	+0,59

Mesures d'essai au Simplon.

Mars-Avril 1906...	Étendu	5	+0,64
Avril 1906.....	»	5	+0,66
Septembre 1906...	Étendu	5	+0,68
Octobre 1906.....	»	5	+0,68

Mesure d'une base à Madagascar.

Avril-Mai 1910....	Étendu	5	+0,69
Mai-Juin 1910....	»	5	+0,72

Dérouillé les réglettes.

Juin-Juillet 1910..	Étendu	5	+0,70
---------------------	--------	---	-------

4. *Commission géodésique suisse.* — Trois fils, enroulés sur un trop faible diamètre et portant des réglettes d'un premier modèle,

allégé depuis lors, entrèrent au Bureau en septembre 1903, et servirent jusqu'en février 1904 à de nombreuses études d'extension, de battage ou d'enroulage. Les observations faites pour leur détermination proprement dite ne commencèrent qu'en septembre 1904. Soumis, jusqu'en mars 1906, à diverses séries de mesures séparées par des temps de repos pendant lesquels ils restaient enroulés, les fils furent utilisés, pendant la mesure de la base du Simplon, à assurer le contrôle de ceux employés à l'opération dans le tunnel. Pour le transport les fils étaient enroulés sur un tambour. Le résumé ci-après, des valeurs trouvées pendant toute la période de leur étude et de leur emploi, révèle de très faibles variations de chacun d'eux :

Dates.	Traite- ment.	Nombre de déter- minations.	Fils — 24 <sup>m</sup> .		
			A 31. mm	A 32. mm	A 33. mm
Sept. 1904 . . . . .	Étendus	5	+0,51	+1,53	+0,27
Sept.-Oct. 1904..	»	5	+0,52	+1,56	+0,33
Restés enroulés pendant 2 mois.					
Décembre 1904 ..	Étendus	5	+0,48	+1,46	+0,28
Déc. 04-Jan. 1905.	»	5	+0,48	+1,47	+0,25
Restés enroulés pendant 2 mois.					
Mars 1905 . . . . .	Étendus	5	+0,44	+1,47	+0,25
Mars-Avril 1905.	»	5	+0,44	+1,49	+0,26
Restés enroulés pendant 5 mois.					
Septembre 1905.	Étendus	5	+0,49	+1,43	+0,26
Sept.-Oct. 1905 .	»	5	+0,48	+1,46	+0,27
Restés enroulés pendant 15 jours.					
Janv.-Févr. 1906.	Étendus	5	+0,49	+1,44	+0,24
Février 1906 . . .	»	5	+0,44	+1,42	+0,26
Rectifié les réglettes.					
Février 1906 . . .	Étendus	5	+0,40	+1,45	+0,25
Févr.-Mars 1906.	»	5	+0,36	+1,42	+0,20
Mars 1906 . . . . .	»	5	+0,33	+1,45	+0,22
Contrôle pendant la mesure de la base du Simplon.					
Mars-Avril 1906..	Étendus	5	+0,42	+1,37	+0,23
Avril 1906 . . . . .	»	5	+0,42	+1,37	+0,22

Les deux fils suivants ont été utilisés pour la mesure dans le tunnel. Un accident survenu à l'un d'eux au neuvième kilomètre conduisit à lui substituer le second fil, au moyen duquel on mesura 31<sup>km</sup>. Aussitôt après l'accident, qui avait provoqué une courbure bien marquée du fil au voisinage de l'une des réglettes, on détermina sa valeur par comparaison avec les trois fils dont il vient d'être question. Celle-ci se trouva en parfait accord avec l'équation qui fut déterminée après le retour à Sèvres. La courbure ayant été réparée, on fit une nouvelle détermination des deux fils. Le relevé qui suit montre que, l'accident mis à part, ils se sont conservés presque sans changement.

Dates.	Traite- ment.	Nombre de déter- minations.	Fils — 24 <sup>m</sup> .	
			98.	99.
			mm	mm
Septembre 1905 ..	Étendus	5	—0,05	—0,77
Octobre 1905.....	»	5	—0,09	—0,79
Oct.-Nov. 1905...	»	5	—0,05	—0,80

Restés enroulés pendant 15 jours.

Janv.-Févr. 1906..	Étendus	5	—0,05	—0,78
Février 1906.....	»	5	—0,06	—0,77
Février 1906.....	{ Mesures, sans enroulages, sur la base exté- rieure du Bu- reau. }	4	—0,07	—0,77
Févr.-Mars 1906..		4	—0,07	—0,82
Mars 1906.....		6	—0,08	—0,76

Mesure de la base du Simplon, accident au n° 98.

Mars-Avril 1906 ..	Étendus	5	—0,23	—0,77
Avril 1906.....	»	5	—0,20	—0,76

Réparation de la courbure.

Avril-Mai 1906 ...	Étendus	5	—0,06	—0,75
Mai-Juin 1906....	»	5	—0,05	—0,73
Septembre 1905 ..	»	5	—0,05	—0,72

5. *Service topographique royal prussien.* — Les fils, au nombre de six, entrés au Bureau au commencement de 1905, subirent deux périodes d'études, séparées par une période de repos. Envoyés en Allemagne en juin 1905, ils furent utilisés dans une mesure de base, à laquelle ils participèrent tous les six. Trois d'entre eux, renvoyés

au Bureau à la fin de 1910, ont été mesurés de nouveau. Deux ont conservé leurs valeurs d'une façon remarquable, tandis que le troisième a subi un léger raccourcissement, comme le montre le relevé ci-après.

Dates.	Trai- tement.	Nombre de détermi- nations.	Fils — 24 <sup>m</sup> .		
			39.	40.	41.
			mm	mm	mm
Janv.-Fév. 1905...	Étendus	5	+0,55	-0,01	-0,07
Fév.-Mars »	»	5	+0,54	-0,00	-0,07

Restés enroulés pendant 6 semaines.

Avril-Mai 1905...	Étendus	5	+0,59	+0,04	-0,03
Mai »	»	5	+0,57	+0,02	-0,07

Mesures de bases en Allemagne.

Déc. 1910-Janv. 1911.	Étendus	5	+0,59	+0,07	-0,19
Février-Mars »	»	5	+0,59	+0,06	-0,17

6. *Ecole Polytechnique de Stuttgart.* — Deux fils, étudiés en 1905, ont servi couramment depuis cette époque à de fréquentes mesures d'une courte base (436<sup>m</sup>) près de Cannstatt, par les élèves de l'École, à titre d'exercice annexé au Cours de Géodésie. Le Professeur E. Hammer, qui a dirigé ces opérations, en a mentionné les résultats à diverses reprises (<sup>1</sup>), en insistant sur la précision élevée atteinte dans ces mesures, faites par des équipes non encore exercées.

Les fils étant revenus au Bureau en octobre 1908, furent reconnus en bon état de conservation, à l'exception d'une légère déviation des réglottes de l'un d'eux, déjà mentionnée par le Professeur Hammer. Les valeurs réduites, données ci-après, montrent un très faible raccourcissement des fils par rapport à la variation normale :

---

(<sup>1</sup>) *Zeitschrift für Vermessungswesen*, passim (Stuttgart, 1906-11).

Dates.	Traite- ment.	Nombre de déter- minations.	Fils — 24 <sup>m</sup> .	
			62.	63.
Juillet 1905.....	Étendus	5	<sup>mm</sup> +0,68	<sup>mm</sup> +0,19
Juillet 1905.....	»	5	+0,71	+0,17

Restés enroulés pendant 2 mois.

Septembre 1905.....	Étendus	5	+0,67	+0,17
Octobre 1905.....	»	5	+0,64	+0,19

Nombreuses mesures d'exercice à Cannstatt.

Oct.-Nov. 1908.....	Étendus	5	+0,53	+0,11
Novembre 1908.....	»	5	+0,55	+0,14

Rectifié les réglettes.

Novembre 1908.....	Étendus	5	+0,61	+0,12
Nov.-Déc. 1908.....	»	5	+0,61	+0,11

7. *Cadastre de la ville de Stockholm.* — A cette opération furent attribués trois des fils qui avaient servi aux expériences de transport maritime dont il a été rendu compte dans notre Ouvrage (p. 134). Deux d'entre eux, enroulés librement, et le troisième monté sur un tambour, avaient été envoyés en Égypte puis au Japon. Bien que deux des fils eussent visiblement souffert dans le premier voyage, en raison d'un défaut d'emballage, ils participèrent au second sans que nous leur eussions fait subir les petites réparations nécessaires, auxquelles ils furent soumis seulement au retour du Japon. Enroulés sur un tambour, ils furent envoyés à Stockholm, où ils servirent à mesurer plusieurs bases dans le courant des années 1907 et 1908. Déterminés à nouveau, ils ont été retrouvés à peine modifiés. Dans le Tableau suivant, nous reproduisons les résultats déjà publiés, mais auxquels a été appliquée la petite correction due à la variation normale :

Dates.	Traite- ment.	Nombre de déter- minations.	Fils — 24 <sup>m</sup> .		
			124.	125.	126.
Jun 1906.....	Étendus	5	<sup>mm</sup> -1,49	<sup>mm</sup> -0,45	<sup>mm</sup> -1,24
Juillet 1906.....	»	5	-1,47	-0,43	-1,21

Restés enroulés pendant trois mois et demi.

			mm	mm	mm
Octobre 1906....	Étendus	5	-1,47	-0,43	-1,19
Octobre 1906....	»	5	-1,44	-0,46	-1,20

Voyage en Égypte.

Décembre 1906..	Étendus	5	-1,53	-0,48	-1,20
Décembre 1906..	»	5	-1,52	-0,50	-1,16

Voyage au Japon.

Mai 1907.....	Étendus	5	-1,49	-0,46	-1,16
Juin 1907.....	»	5	-1,49	-0,43	-1,18

Rectifié les réglettes.

Juillet 1907.....	Étendus	5	-1,52	-0,46	»
Juillet 1907.....	»	5	-1,50	-0,44	»

Mesures de bases à Stockholm.

Sept.-Oct. 1908..	Étendus	5	-1,46	-0,39	-1,18
Octobre 1908....	»	5	-1,48	-0,41	-1,16

Rectifié les réglettes.

Novembre 1908..	Étendus	5	»	-0,43	-1,15
Novembre 1908..	»	5	»	-0,41	-1,14

Les fils n<sup>os</sup> 124 et 125 avaient été, pour le voyage par mer, enroulés librement; le fil n<sup>o</sup> 126 était enroulé sur un tambour.

8. *Expédition géodésique dans l'Ouganda.* — Trois fils étudiés en 1907 ont servi, dans les deux années suivantes, à mesurer plusieurs bases dans le territoire de l'Ouganda, où ils furent soumis d'une façon continue à l'action d'une température très élevée. Expédiés par mer, ils furent rapportés au Bureau par les soins du Capitaine Jack, qui voyagea par terre jusqu'au Caire. Les mesures furent reprises dès le jour de leur retour; elles ont compris deux séries, séparées par un intervalle de près de quatre mois, pendant lesquels les fils restèrent étendus; après une rectification reconnue nécessaire de la direction des réglettes, ils furent soumis à une dernière série de mesures. Le Tableau suivant résume l'ensemble de ces opérations :

Dates.	Traitement.	Nombre de déter- minations.	Fils — 24 <sup>m</sup> .		
			168.	174.	176.
Sept.-Oct. 1907...	Étendus	5	<sup>mm</sup> —0,81	<sup>mm</sup> —1,15	<sup>mm</sup> —0,30
Oct.-Nov. » ...	»	5	—0,80	—1,14	—0,30

Mesures de bases dans l'Ouganda.

Mai-Juin 1907...	Étendus	5	—0,82	—1,14	—0,41
Juin-Juill. » ...	»	5	—0,74	—1,12	—0,36
Oct.-Nov. » ...	»	5	—0,75	—1,10	—0,35
Nov.-Déc. » ...	»	5	—0,74	—1,07	—0,36

Rectifié les réglettes.

Fév.-Mars 1910...	Étendus	5	—0,70	—1,03	—0,35
Mars-Avril » ...	»	»	—0,71	—1,05	—0,35

Il semble, à l'inspection du Tableau, que les fils aient subi un allongement progressif dès leur retour au Bureau. Une semblable variation est tout naturellement expliquée par la disparition de la contraction passagère produite par le séjour à une température très élevée, et dont l'un de nous a déterminé la loi (1).

Au bout d'un mois environ, cette contraction avait disparu, et les fils avaient pris une longueur définitive, qu'ils ont conservée jusqu'au moment où une rectification de la direction des réglettes produisit un faible allongement de deux d'entre eux. Au total, deux des fils ont gardé un faible allongement permanent, tandis que l'autre s'est un peu raccourci. La première de ces variations s'expliquerait par une suite de l'étuvage, pratiqué au Bureau pendant trois mois, mais auquel le temps, supérieur à une année, passé à une température atteignant fréquemment 40°, a pu ajouter un effet sensible. Le fil n° 176 était d'une coulée autre que les précédents.

9. *Service du Cadastre du Canada.* — Deux fils appartenant à ce Service ont été, comme les précédents, étudiés à deux reprises différentes; enroulés sur un tambour, ils ont été employés à la mesure d'une base à Kootenay, dans les Montagnes Rocheuses, faite en terrain difficile, en octobre et novembre 1909. Les résultats

---

(1) *Procès-Verbaux*, session de 1899, p. 169, et CH.-ÉD. GUILLAUME, *Les applications des aciers au nickel* (Gauthier-Villars).

résumés ici accusent, pour l'un, une conservation parfaite, pour l'autre un faible raccourcissement :

Dates.	Traite- ment.	Nombre de déter- minations.	Fils — 24 <sup>m</sup> .	
			272.	273.
Novembre 1908.....	Étendus	5	<sup>mm</sup> +1,11	<sup>mm</sup> +0,87
Déc. 08-Janv. 1909....	»	5	+1,09	+0,86

Mesures de bases au Canada.

Sept.-Oct. 1910.....	Étendus	5	+1,01	+0,86
Oct.-Nov. 1910.....	»	5	+1,03	+0,86

10. *Service technique du Ministère des Colonies des Pays-Bas.* — Ces fils n'ont été soumis qu'à deux séries de déterminations, entre lesquelles ils ont servi à mesurer des bases à Sumatra. Leurs valeurs sont reproduites ci-après :

Dates.	Trai- tement.	Nombre de déter- minations.	Fils — 24 <sup>m</sup> .	
			285.	286.
Janvier-Février 1909..	Étendus	5	<sup>mm</sup> +0,60	<sup>mm</sup> +0,34
Février-Mars »	»	5	+0,57	+0,34

Mesures de bases à Sumatra.

Nov.-Déc. 1910.....	Étendus	5	+0,48	+0,27
Décembre »	»	5	+0,48	+0,28

On voit donc que les deux fils ont subi un raccourcissement, appréciable pour le premier, très faible pour le second ; pour le voyage, ils étaient enroulés sur un tambour.

11. *Ministère des Colonies du Portugal.* — Quatre fils, entrés au Bureau à la fin de 1907, furent envoyés à Lourenço-Marquez, où ils furent rejoints par deux nouveaux fils étudiés au commencement de 1909. Les quatre premiers fils étaient enroulés sur un tambour, les deux derniers étaient en couronnes libres. Ces six fils ont servi, de juillet à septembre 1910, dans la mesure de deux bases, de 8600<sup>m</sup> et de 12100<sup>m</sup> environ, situées à Inhambane et à Manhiça. La presque totalité des observations a été faite à l'aide de l'un des deux fils, le n° 284 ; quelques-unes seulement avec le n° 283, ce dernier et les

quatre autres ayant été employés à en assurer le contrôle. Les fils n<sup>os</sup> 283 et 284 sont revenus au Bureau enroulés sur un tambour en bois.

Le voyage d'aller avait été effectué par la voie la plus directe. Au retour, les fils prirent la route du Cap, et séjournèrent pendant quelque temps en Angleterre. Lorsqu'ils arrivèrent au Bureau, ils étaient déjà depuis assez longtemps exposés à une température basse pour que l'on pût faire abstraction de leur contraction passagère.

Le Tableau suivant contient les valeurs trouvées au Bureau pour les six fils :

Dates.	Trai- tement.	Nombre de détermi- nations.	Fils — 24 <sup>m</sup>					
			179.	200.	201.	209.	283.	284.
1908.			mm	mm	mm	mm	mm	mm
Janv.-Fév.	Étendus	5	+1,29	+0,21	+0,15	-0,96	+0,17	+0,66
Février...	»	5	+1,27	+0,23	+0,14	-0,96	+0,17	+0,67

Mesures de bases dans l'Afrique orientale portugaise.

1911.								
Mars-Avril.	Étendus	5	+1,34	+0,32	+0,21	-0,83	+0,11	+0,69
Avril-Mai..	»	5	+1,36	+0,32	+0,21	-0,83	+0,10	+0,70

*Conclusions de l'étude des fils au Bureau international.*

L'examen des nombreux résultats qui viennent d'être résumés permet d'intéressantes conclusions concernant la précision de la détermination des fils et leur tenue dans le cours du temps ou sous des influences variées.

D'abord, la comparaison des valeurs moyennes fournies par deux groupes de cinq séries consécutives de mesures, exécutées sans que les fils eussent subi aucune manipulation, fixe la limite de précision avec laquelle chacune de ces moyennes est déterminée. Or si, dans les résultats les plus anciens que nous ayons mentionnés, il s'en trouve qui présentent entre eux des divergences atteignant très exceptionnellement 0<sup>mm</sup>,06, en revanche les écarts maxima des dernières années ne dépassent guère la moitié de cette valeur, et confinent au millionième des longueurs mesurées (1).

---

(1) Des écarts plus considérables ont été trouvés, il est vrai, entre les

Des écarts d'un ordre légèrement supérieur entre des groupes d'observations séparées par un intervalle de longue durée n'autoriseraient pas encore à affirmer une variation réelle des fils, indépendamment, bien entendu, de celle qui est régie par la courbe normale à laquelle nos résultats ont été ramenés. Nous devons admettre en effet la possibilité de petites erreurs dans la valeur admise pour notre base entre ses déterminations absolues, et qui est obtenue, on s'en souvient, par sa comparaison avec les douze fils d'invar formant nos deux séries de contrôle.

A ces remarques d'ordre général, nous pouvons en ajouter une autre : sous la forme dans laquelle nos résultats ont été donnés, ils contiennent une part d'arbitraire. Pour en faciliter la discussion, nous avons appliqué à tous uniformément la réduction au moment initial, en nous servant des données fournies par la courbe des changements normaux. Or cette réduction renferme deux éléments d'incertitude. D'une part, l'ordonnée de la courbe à un moment donné est fonction de la température à laquelle l'alliage a été exposé ; et, d'autre part, ses paramètres se modifient rapidement avec la teneur en nickel, comme nous l'avons rappelé p. 112. Une *petite* différence par rapport aux résultats prévus n'impliquera donc pas nécessairement un changement anormal ou accidentel des fils.

Ces remarques faites, l'examen détaillé des résultats rassemblés plus haut permet de constater que les fils manifestant des variations notables ou irrégulières constituent une rare exception. Pour la plupart, les écarts sont restés minimes, et il en est un bon nombre dont la valeur s'est retrouvée, après une campagne, identique à ce qu'elle était au départ. On en conclura avec beaucoup de vraisemblance que les fils dont la valeur s'est notablement modifiée ont subi des accidents, ou tout au moins qu'ils ont été soumis à des actions étrangères aux manipulations imposées par les mesures.

Pour ceux dont les écarts sont restés faibles, les uns se sont allongés, d'autres raccourcis par rapport aux changements normaux. Les allongements, ainsi que l'ont montré nos expériences, peuvent difficilement résulter de l'application prolongée de la tension normale, ou même de l'effet d'une tension excessive de courte durée. Mais le supplément d'éluavage à une température élevée l'explique

---

valeurs consécutives des fils de l'Ouganda (p. 128) ; mais, comme nous l'avons fait observer, ils venaient d'être exposés à une température élevée, et avaient subi une *dépression* passagère.

suffisamment; et nous voyons en effet que deux des fils employés dans l'Ouganda, quatre des fils qui ont servi dans le Mozambique, un des fils de Madagascar et un de Togo-Dahomey se sont allongés de quantités bien mesurables. En revanche, aucun des fils utilisés dans les pays froids n'a subi un allongement qui dépasse sensiblement les erreurs possibles des observations.

Les faibles contractions relatives sont plus nombreuses; elles s'expliquent, indépendamment des écarts des conditions réelles comparées à celles que nous avons admises comme moyennes ou normales, par les petites courbures locales que peuvent prendre à la longue les fils soumis à de nombreuses manipulations, aussi bien qu'à une suite de la disparition des tensions par l'effet des chocs répétés que les fils subissent dans les transports ou dans leur emploi.

En présence de la grande majorité de changements très faibles, on peut affirmer que des variations considérables ou irrégulières, dans un sens comme dans l'autre, sont dues à des causes anormales : fausses manœuvres ou accidents.

Lorsque des fils, soustraits à tout accident, ont été maintenus à des températures moyennes, on peut donc, après quelques années, calculer, avec bien des chances de ne commettre que de faibles erreurs, leur valeur en partant de leur longueur initiale, et en utilisant la courbe normale de leurs changements. Si les fils soustraits à des causes mécaniques de détérioration ont été exposés à des températures élevées, les valeurs ainsi calculées seront probablement trop faibles; s'ils ont été, aux températures ordinaires, exposés à des chocs répétés, les longueurs extrapolées seront trop fortes; mais il ne s'agira toujours que de très petites quantités.

L'emploi, en campagne, de fils servant uniquement à des comparaisons de contrôle garantit contre les causes accidentelles de variation auxquelles peuvent être exposés ceux qui servent aux mesures proprement dites: d'autre part, une étude de l'action prolongée des températures élevées pourra conduire à tracer des courbes de variation permettant de resserrer encore les prévisions dans certains cas exceptionnels. En tout état de cause, de nouvelles déterminations de fils, faites au Bureau international ou dans les Établissements possédant une base mesurée en valeur absolue, ramènent le calcul de leur longueur en campagne à une interpolation comportant une certitude élevée, si, comme pour la plupart de ceux dont les valeurs ont été reproduites dans cette Note, les variations sont faibles, et excluent l'idée d'un accident ou d'une fausse manœuvre.

Nous allons donner maintenant quelques exemples de comparaisons faites sur le terrain, montrant la certitude que comporte une semblable interpolation pour des fils n'ayant pas subi d'accidents évidents.

#### IV. — COMPARAISONS EN CAMPAGNE.

Bien que de nombreux fils aient pu servir à effectuer des mesures de bases sans éprouver de changements appréciables, on doit considérer comme d'élémentaire prudence de s'assurer en campagne la possibilité de vérifier la tenue de ceux employés aux déterminations proprement dites, par leur comparaison avec une longueur repérée soit à l'aide d'un étalon rigide, soit au moyen d'autres fils conservés spécialement dans ce but, et soustraits à toute autre cause de détérioration. C'est une pratique que nous avons toujours recommandée, en insistant, dans ces dernières années, sur le fait que la grande permanence des fils manipulés avec toutes les précautions enseignées par une longue pratique, permet de leur accorder une pleine confiance et dispense de l'emploi, coûteux en campagne, des règles accompagnées de tout leur matériel auxiliaire.

Les résultats de comparaisons faites sur le terrain nous ont été communiqués par plusieurs services géodésiques, ou ont été publiés par leurs soins. Nous allons résumer brièvement ceux qui sont parvenus à notre connaissance.

1. *Mesures de la base d'essai de Cannstatt.* — Entre les deux séries de déterminations qui en ont été faites au Bureau (p. 127), les fils n<sup>os</sup> 62 et 63 ont servi à effectuer au total 24 mesures d'une base de 436<sup>m</sup> et 4 mesures d'une base de 785<sup>m</sup>; ces mesures, faites surtout à titre d'exercice, ont été effectuées, en majeure partie, par des équipes non exercées. Leurs résultats, réduits au moyen des valeurs portées au certificat délivré par le Bureau en 1905, ont été les suivants :

Dates.	Température.	Valeurs de la base par le fil				Différence.
		62.		63.		
6 Juin 1906...	16 <sup>o</sup> à 23 <sup>o</sup>	435 <sup>m</sup> ,8619 8616	435 <sup>m</sup> ,8617	435 <sup>m</sup> ,8590 8618	435 <sup>m</sup> ,8604	+1,3 <sup>mm</sup>
14 Juin » ...	10,5 à 16	435,8614 8609	435,8611	435,8638 8600	435,8619	-0,8
5 Sept. » ...	16 à 33	435,8597 8543	435,8570	435,8600 8635	435,8617	-4,7
29 Juin 1907...	18 à 28	435,8637 8637	435,8637	435,8612 8630	435,8621	+1,6
13 Juin 1908...	25 à 28	435,8600 8628	435,8614	435,8613 8607	435,8610	+0,4
11 Sept. » ...	11 à 15	435,8612		435,8619		-0,7
24 Juin 1907...	15 à 20	785,4684		785,4693		-0,9
11 Sept. 1908...	11 à 15	785,4673		785,4710		-3,7

Les mesures de la base courte présentent entre elles un seul écart important dans les valeurs qu'en donnent les deux fils ; au surplus, les deux mesures faites par le même fil divergent plus fortement encore. Les circonstances atmosphériques étaient, ce jour-là, si défavorables aux mesures, que celles-ci durent être interrompues à plus d'une reprise ; on peut donc considérer les résultats du 5 septembre comme anormaux, et n'en pas tenir compte. La moyenne pondérée des autres différences pour la base courte est de + 0<sup>mm</sup>,48, et pour la base longue, de - 2<sup>mm</sup>,3, au total, soit + 0<sup>mm</sup>,03 et - 0<sup>mm</sup>,07 par portée. Cette seconde différence est entraînée par une seule mesure.

Or, si nous nous reportons aux valeurs trouvées au Bureau avant le départ des fils pour Stuttgart et à leur retour, avant la rectification des réglettes, nous voyons que l'équation du second a été abaissée de 0<sup>mm</sup>,06 relativement à celle du premier. En prenant les moyennes, nous aurons donc à diminuer de 0<sup>mm</sup>,03 les valeurs fournies par le premier fil ; un heureux hasard conduit alors à une concordance parfaite entre les valeurs moyennes de la courte base fournie par les deux fils.

2. *Mesures de bases dans l'Ouganda.* — Les trois fils dont nous avons décrit l'étude furent comparés entre eux à cinq reprises diffé-

rentes, soit sur une base de cinq portées, soit sur une seule portée, marquée par deux repères mobiles. Ces comparaisons furent exécutées à des températures variables et généralement assez élevées, soit avant, soit après la mesure des bases. Les résultats suivants, qui nous ont été obligeamment communiqués par le Capitaine Jack, représentent les excédents ramenés à une portée, tels qu'ils sont fournis par chacun des fils, en partant des deux valeurs données par les déterminations de septembre-novembre 1907, et inscrites dans les certificats :

Dates.	Tempé- rature.	Longueurs mesurées.	Excédents ramenés à une portée d'après		
			168.	174.	176.
			mm	mm	mm
23-24 Août 1908. . . .	30-26 <sup>o</sup>	120 <sup>m</sup>	-4,57	-4,50	-4,43
3-5 Sept. » . . . .	26-27	120	-4,42	-4,37	-4,34
18 » » . . . .	30-21	24	+4,22	+4,25	+4,30
22 » » . . . .	32	24	+3,31	+3,31	+3,40
27 » » . . . .	24-35	120	-4,52	-4,50	-4,47
Moyennes rapportées à 24 <sup>m</sup> . . . .			-1,20	-1,16	-1,11
Différences. . . . .			-0,04	0,00	+0,05

L'écart maximum par rapport à la moyenne est donc de 0<sup>mm</sup>,05. Mais la nouvelle détermination qui a été faite des fils, en octobre-décembre 1909 (p. 129), permet de calculer une deuxième valeur des bases, en ajoutant aux nombres ci-dessus les quantités respectives :

	mm	mm	mm
	+0,03	+0,03	-0,03
ce qui donne :			
	-1,17	-1,13	-1,14
avec les écarts :			
	-0,02	+0,02	+0,01

Ainsi, malgré les nombreuses difficultés dont ont été entourées les comparaisons des fils et leur emploi en campagne, ainsi que leur transport, leurs valeurs individuelles présentent, par rapport à leur moyenne déduite des déterminations faites au Bureau, des écarts inférieurs au millionième.

3. *Mission géodésique de l'Afrique orientale portugaise.* — Avant et après les mesures de chacune des bases d'Inhambane et de Manhiça, les six fils dont était pourvue la Mission ont été soumis,

sur une base de 24<sup>m</sup>, à des comparaisons faites en séries symétriquement constituées. La correction pour la variation séculaire ayant été faite, les six fils, comparés à des températures comprises entre 10° et 30°, ont donné, pour les deux bases de contrôle, les valeurs suivantes, que nous a fait connaître M. Gago Coutinho, Chef de la Mission :

		179.	200.	201.	209.	233.	284.
Avant } la base	Après } d'Inhamibane. {	<sup>m</sup> 24+0,82	<sup>mm</sup> +0,90	<sup>mm</sup> +0,93	<sup>mm</sup> +0,85	<sup>mm</sup> +0,93	<sup>mm</sup> +0,96
		+0,77	+0,85	+0,84	+0,79	+0,88	+0,82
Moyenne. ....		+0,79	+0,87	+0,88	+0,82	+0,90	+0,89
Avant } la base	Après } de Manhiça .. {	24-1,92	-1,84	-1,86	-1,93	-1,81	-1,88
		-2,02	-1,92	-1,91	-1,99	-1,90	-1,98
Moyenne. ....		-1,97	-1,88	-1,88	-1,96	-1,85	-1,93
Moy. des 2 groupes...		-0,59	-0,51	-0,50	-0,57	-0,48	-0,52
Avec les écarts.....		-0,06	+0,02	+0,03	-0,04	+0,05	+0,01

En corrigeant, comme précédemment, de la moitié des écarts entre les valeurs de 1908 et 1911 (p. 131), soit

	<sup>mm</sup> +0,04	<sup>mm</sup> +0,05	<sup>mm</sup> +0,03	<sup>mm</sup> +0,07	<sup>mm</sup> -0,03	<sup>mm</sup> +0,02
on trouve	-0,55	-0,46	-0,47	-0,50	-0,51	-0,50
avec les écarts	-0,05	+0,04	+0,03	0,00	-0,01	0,00

L'erreur probable de la longueur fixée par l'ensemble des six fils est inférieure à 0<sup>mm</sup>,01.

4. *Mission hydrographique de Madagascar.* — La mesure d'une base de 4591<sup>m</sup>, faite, sous la direction de M. H. Roussilhe, Ingénieur-hydrographe de la Marine française, à l'aide des deux fils nos 50 et 64, déterminés à diverses reprises au Bureau, a conduit, par chacun des fils, à des valeurs ne différant que de 0<sup>mm</sup>,3 pour la base entière, en partant des nombres du certificat. L'équation relative des fils que donne la double mesure de la base est donc en parfait accord avec les valeurs trouvées au Bureau en 1906; les déterminations de 1910 (p. 123) ne modifient pas cette conclusion.

5. *Base de Campo de Mayo.* — C'est encore d'une mesure de

base effectuée à l'aide de plusieurs fils, par les soins de l'Institut géographique militaire de la République Argentine, que nous pouvons déduire les valeurs relatives de ces fils, comparées à celles qui ont été trouvées au Bureau.

Quatre fils, portant les numéros A1, A2, A3, A4, furent envoyés à Buenos-Aires dans le courant de l'année 1903, et furent employés ultérieurement à la mesure d'une base au Campo de Mayo, exécutée sous la direction de M. Julio Lederer, Chef de la Section de Géodésie (1).

Dans cette mesure, chaque fil fut employé à déterminer, à l'aller et au retour, la base entière, soit 128 portées, ou 3072<sup>m</sup>, avec un appoint négatif, compris entre 0<sup>m</sup>,6 et 1<sup>m</sup> environ pour chacun des fils.

Les Tableaux suivants résument les résultats fournis par les quatre fils; le premier contient les nombres portés au certificat délivré par le Bureau; le second, les données relatives à la mesure de la base :

Fils.	Valeurs portées aux certificats.
A1 .....	m    mm 24 — 2,06
A2 .....	— 0,48
A3 .....	— 1,97
A4 .....	+ 0,91

Fils.	Tempé- rature.	Valeur de la base.	$\frac{\text{Excès}}{128}$ .	Δ.
A1....	14,0	128 A1 — 621,49	+4,86	6,92
A2....	13,7	128 A2 — 826,68	+6,46	6,94
A3....	12,5	128 A3 — 633,36	+4,95	6,92
A4....	22,0	128 A4 — 1002,06	+7,83	6,92

Pour utiliser ces résultats, le procédé le plus simple consiste à former le quotient par 128 des excédents trouvés par chacun des fils, et à calculer leurs différences par rapport aux données du certificat. C'est ainsi qu'ont été obtenus les nombres inscrits dans

---

(1) J. LEDERER, *La Medicion de la base en Campo de Mayo*, Comunicaciones al Congreso científico internacional americano, Buenos-Aires, 1910.

la dernière colonne. Leur presque identité montre que les fils possédaient, au moment de leur emploi sur le terrain, des valeurs relatives ne différant pas matériellement de celles qui leur avaient été assignées par leur étude au Bureau.

6. *Service géographique de l'Armée russe. — A. Base d'Omsk.* —

Six fils, portant les numéros 131 à 136, furent envoyés, par les soins de la Section topographique de l'État-Major de l'Armée russe, à l'Institut géodésique d'Omsk, dans la Sibérie occidentale. Ces fils avaient été étudiés au Bureau en mai 1907. En septembre 1909, ils furent employés sur le terrain pour mesurer, associés deux à deux, des longueurs plus ou moins étendues d'une base de 6728<sup>m</sup>. Les Tableaux suivants contiennent, avec les valeurs attribuées aux fils, les résultats des mesures sur le terrain, dans leur ordre chronologique (1) :

Fils.	Valeurs portées aux certificats.	
	m	mm
131.....	24	+ 0,54
132.....	»	+ 0,90
133.....	»	+ 1,12
134.....	»	+ 0,84
135.....	»	+ 0,51
136.....	»	- 1,12

Fils.	Températures.	Nombre de portées.	Différences.	
			mm	Δ. mm
131-132.....	9,0 à 13,8	30	-0,34	+0,02
133-134.....	12,2 à 12,8	20	+0,25	-0,03
135-136.....	6,4 à 8,5	20	+1,63	0,00
135-136.....	7,9 à 10,0	20	-1,60	-0,03
131-133.....	- 0,5 à 3,3	42	-0,56	+0,02
131-133.....	+ 2,4 à 7,5	60	-0,56	+0,02
131-133.....	0,4 à 2,0	80	-0,57	+0,01
131-133.....	0,5 à 4,5	76	-0,57	+0,01
131-133.....	6,0 à 13,7	100	-0,58	0,00
131-133.....	4,6 à 17,2	80	-0,56	+0,02

(1) Colonel PAVLOV, *Izmierenie Omskago baziça*, Saint-Pétersbourg, 1911.

Fils.	Températures.	Nombre de portées.	Différences.	$\Delta$ .
	<sup>o</sup> à <sup>o</sup>		mm	mm
131-133.....	6,6 à 16,7	102	-0,59	+0,01
131-132.....	10,0 à 16,1	20	-0,36	0,00
133-134.....	17,5 à 19,0	20	+0,30	+0,02
135-136.....	19,2 à 20,3	20	+1,63	0,00
131-132.....	18,0 à 19,2	20	-0,38	-0,02
133-134.....	14,4 à 17,5	20	+0,30	+0,02

Les nombres de la dernière colonne, qui représentent les écarts entre les différences des fils deux à deux mesurées sur le terrain et celles qui résultent des nombres du certificat, sont tous très petits et ne dépassent qu'exceptionnellement le millionième. Groupés en moyennes, ils donnent les nombres suivants, pratiquement nuls :

Fils.	$\Delta$ .
	mm
131-132.....	0,00
133-134.....	0,00
135-136.....	-0,01
131-133.....	+0,01

La concordance des résultats dans chacune des opérations mérite d'autant plus d'être soulignée, que les observations ont été exécutées à des températures variant dans un large intervalle. L'égalité de dilatation des six fils se trouve ainsi parfaitement confirmée.

*B. Détermination des fils à l'Institut géodésique de Tachkent et mesure d'une base à Kasalinsk.* — Les travaux exécutés à Tachkent, sous la direction du regretté Général Gédéonof, empruntent un intérêt particulier au fait qu'ils ont comporté un contrôle direct des déterminations absolues faites au Bureau.

Huit fils, étudiés à Sèvres de 1904 à 1906, furent envoyés à Tachkent par les soins de la Section topographique de l'État-Major de l'Armée russe, et déterminés de nouveau en valeur absolue au moyen d'une base de 24<sup>m</sup>, mesurée à l'aide d'une règle de 3<sup>m</sup>. Les valeurs ainsi trouvées concordaient normalement entre elles, mais présentaient, par rapport à celles des certificats, un écart à peu près constant, de -0<sup>mm</sup>,23. Le bon accord des fils entre eux fit naître des doutes au sujet de la valeur de la règle, qui,

retournée à Saint-Pétersbourg, fut trouvée en effet sensiblement erronée (1).

Dans le courant de la même année fut entreprise, dans le voisinage de Kasalinsk (2) la mesure d'une base de 7420<sup>m</sup> divisée en six sections, dont les deux extrêmes furent mesurées avec quatre fils, les autres avec deux fils seulement. Avant et après la mesure de la base, exécutée sous la direction du Général Gédéonof, les fils furent déterminés en valeur absolue à Tachkent; deux d'entre eux, les numéros 16 et 18, avaient subi, par une manœuvre maladroite du porteur d'avant, une légère torsion des réglettes; on les trouva en effet sensiblement raccourcis dans la deuxième détermination.

Le résumé suivant permet de comparer les valeurs des fils trouvés à Tachkent avec celles qui avaient été déterminées au Bureau, ramenées à l'époque de leur seconde mesure.

Dates.	Lieu.	Fils — 24 <sup>m</sup> .			
		16.	17.	18.	19.
Nov. 1905.....	Sèvres	<sup>mm</sup> +0,73	<sup>mm</sup> +0,70	<sup>mm</sup> +0,83	<sup>mm</sup> —0,16
Janv. 1906.....					
Sept. 1907.....	Tachkent	+0,80	+0,79	+0,90	—0,11
Nov. 1907.....	»	+0,74	+0,81	+0,77	—0,08

Les valeurs de Tachkent avant l'emploi des fils sur la base diffèrent donc toutes, d'une petite quantité positive, de celles qui avaient été trouvées au Bureau. On peut chercher à cet écart une cause commune, que l'on trouvera soit dans de petites erreurs dans les valeurs des bases de Sèvres et de Tachkent, soit dans le fait que, sur cette dernière base, les traits, observés au microscope, avaient un aspect différent de celui qu'ils prennent à la loupe, soit enfin dans l'action des températures souvent élevées qui règnent en Sibérie, et auxquelles les fils venaient d'être soumis pendant deux étés consécutifs. Les deux premières causes ont pu engendrer des écarts

(1) Communication personnelle du Général D. Gédéonof, et *Comptes rendus de la 16<sup>e</sup> Conférence générale de l'Association géodésique internationale* (*Rapport* par le Général N. Artamanof, sur les travaux exécutés dans l'Empire russe, p. 269).

(2) *Izmierenie Kasalinskogo baziça*, etc., Saint-Pétersbourg, 1908, et Communication personnelle du Général Gédéonof, lettre du 28 février 1908.

positifs ou négatifs; la dernière a forcément agi dans le sens des changements révélés par les nombres trouvés.

Une cause commune de changement réel ou apparent étant admise, on peut comparer les valeurs individuelles des fils ramenées à la moyenne de Sèvres ou à celle de Tachkent; et l'on constate alors que les écarts sont inférieurs au millionième.

Pour le calcul de la base, on a admis la moyenne des valeurs de chaque fil d'après les déterminations de Tachkent. Mais on peut, en divisant par le nombre des portées correspondantes les écarts entre les valeurs trouvées pour chaque section, rechercher les équations relatives des fils pendant les diverses phases de l'opération; c'est ainsi qu'en utilisant les publications détaillées du Général Gédéonof ont été obtenus les nombres inscrits dans la dernière colonne du Tableau suivant :

Nombre de portées.	Température.	Écarts des valeurs de 16-17.
	<sup>o</sup>	<sup>mm</sup>
55.....	+13,4	—0,04
52.....	+ 5,7	—0,02
26.....	— 1,0	—0,02
65.....	+ 1,4	+0,02
49.....	+ 7,7	+0,05
61.....	+11,8	+0,03

Il semble, d'après l'allure de ces nombres, que le plus gros de l'accident subi par le fil n° 16 se soit produit entre la troisième et la quatrième sections. Or, si l'on revient au Tableau de comparaison des longueurs de Sèvres et de Tachkent, on voit que, pour le calcul de la base, les premières ont été augmentées de 0<sup>mm</sup>,04 et 0<sup>mm</sup>,10, respectivement pour les deux fils; on devra donc ajouter 0<sup>mm</sup>,06 aux différences trouvées avant la déformation du fil n° 16, pour les ramener aux équations du certificat; on voit alors que l'équation relative donnée par les 55 premières portées diffère de 0<sup>mm</sup>,02 seulement de celle qui avait été établie à Sèvres dix-huit mois auparavant.

On n'aperçoit, dans les nombres ci-dessus, aucun écart systématique en fonction de la température.

7. *Commission géodésique mexicaine.* — Deux fils entrés au Bureau en novembre 1904 furent soumis à deux périodes de déterminations, séparées par un repos d'un mois, pendant lequel les fils étaient enroulés librement. Au terme de la seconde période, ils furent en-

roulés sur un tambour d'aluminium, et envoyés à Tacubaya. Ils ont servi ultérieurement à mesurer deux bases, à Bermejillo et à La Cruz. La première, d'une longueur totale de 10402<sup>m</sup>, a été déterminée à l'aller avec l'un des fils, au retour avec l'autre; la seconde, d'une étendue de 39166<sup>m</sup>, constituant un véritable côté de triangle, a été mesurée dans des conditions très difficiles de terrain et de température; elle a comporté quelques répétitions, et ne fournit pas, comme la première, une comparaison directe des longueurs des deux fils; nous nous bornerons à reproduire, au sujet de cette mesure, l'indication donnée par M. A. Anguiano, dans son Rapport présenté à l'Association géodésique internationale (1), et suivant laquelle l'erreur probable du résultat est de l'ordre de  $\frac{1}{10\ 000\ 000}$ .

Pour la première, le Tableau suivant contient les différences résultant, pour les deux fils, des mesures des diverses sections de la base:

Nombre de portées. °	Différences 25-26. <sup>mm</sup>
39	1,36
39	1,20
39	1,34
38	1,23
38	1,35
37	1,31
42	1,30
41	1,29
41	1,30
41	1,28
38	1,33
Total... 433	Moyenne... 1,30

Les valeurs inscrites aux certificats des deux fils étaient :

N° 25.....	24 <sup>m</sup> + 0 <sup>mm</sup> ,81
N° 26.....	24 <sup>m</sup> - 0 <sup>mm</sup> ,47

Leur différence est de 1<sup>mm</sup>,28; l'écart est donc inférieur au millionième.

---

(1) *Comptes rendus des séances de la 16<sup>e</sup> Conférence*, etc., 1909, p. 253, et Communication personnelle de M. Valentin Gama.

8. *Base géodésique du Delta du Danube.* — Le Service du Cadastre du Royaume de Roumanie a exécuté, dans le Delta du Danube, la mesure d'une base de 9462<sup>m</sup>, divisée en trois sections de longueurs à peu près égales, mesurées respectivement à l'aller et au retour par les fils n<sup>os</sup> 288 et 289.

La différence trouvée, pour la base entière, soit 394 portées, entre les valeurs fournies par les deux fils, a été de 3<sup>mm</sup>,65 ou moins de 0<sup>mm</sup>,01 par portée. La concordance est donc parfaite (1).

9. *Base de Kootenay (Canada).* — Cette base, de 8567<sup>m</sup>, a été mesurée en 1909 à l'aide des deux fils n<sup>os</sup> 272 et 273; elle était divisée en six sections, qui furent mesurées une fois par chacun des fils, puis alternativement par l'un et par l'autre; les valeurs de chacune des sections, calculées en utilisant les moyennes des déterminations faites au Bureau (p. 130), étaient normalement concordantes; pour la base entière, les longueurs obtenues par l'un et l'autre fils différaient de 3<sup>mm</sup>,5, soit un peu moins de 0<sup>mm</sup>,01 par portée, comme pour la précédente (2).

#### *Conclusion des études faites en campagne.*

Les résultats qui précèdent n'appellent que de brefs commentaires. Obtenus dans les conditions les plus diverses de personnel, de terrain, de température, de transport, ils ont confirmé avec une perfection réellement inespérée les valeurs relatives des fils déterminées au Bureau. Ils justifient donc pleinement les conclusions déjà tirées des nombreuses études consacrées à la préparation et à l'emploi des fils d'invar, et de plus en plus nettement affirmées à mesure que s'accumulaient nos données. Ils font apparaître ces fils comme susceptibles de fournir des résultats de la plus haute précision actuellement désirable dans la mesure des bases, à la seule condition que les opérateurs suivent, dans leur maniement, quelques règles très simples, que la pratique a enseignées, et avec lesquelles des exercices préliminaires les familiariseront en quelques heures.

---

(1) Communication de M. J. Vidrasco, lettre du 3 mai 1911.

(2) P.-A. CARSON, *Precise measuring with invar wires and the measurement of Kootenay base according to the method of the International Bureau of Weights and Measures (Journ. of the Roy. Astron. Soc. of Canada, jan.-feb. 1911).*

---

## ANNEXE II.

---

# COMPARATEUR DE MOYENNE PRÉCISION

POUR L'ÉTUDE RAPIDE

DES ÉTALONS A TRAITS OU A BOUTS,

Par Ch.-Éd. GUILLAUME.

---

Entre les comparateurs de haute précision, dont sont dotés les Instituts métrologiques de premier ordre, et l'outillage rudimentaire des Bureaux ordinaires de vérification des étalons de longueur, existait jusqu'ici une lacune qu'il importait de combler. L'étude d'un instrument correspondant aux tâches multiples attribuées aux Services nationaux des poids et mesures, pour la détermination des règles divisées ou des étalons à bouts, avait été déjà envisagée, lorsque l'organisation imminente d'un Office central de vérification dans l'Empire chinois vint donner, à des projets restés vagues jusque-là, une forme précise, suivie d'une prompte exécution.

L'instrument construit sur mes indications par la *Société genevoise* devait s'adapter à l'état actuel de la législation chinoise sur les poids et mesures, qui, tout en faisant déjà une large place au Système métrique, prévoit l'emploi d'unités dérivant du Mètre par un rapport simple, et dont la division, entièrement décimale, conserve ce rapport jusqu'aux plus petites longueurs. Son étude montra qu'il répondait bien au problème posé; il permettait de déterminer rapidement, avec une précision maxima du centième de millimètre, des étalons de formes diverses; son usage sembla donc susceptible de se généraliser.

Mais la nécessité de le construire à la fois pour deux systèmes différents avait conduit à des complications inutiles pour son emploi

dans les pays uniquement métriques. C'est pourquoi il en a été établi un autre modèle, portant, outre des simplifications évidentes, quelques perfectionnements qu'avait suggérés la première étude.

A la suite de celle-ci, un rapport détaillé fut adressé au Gouvernement chinois par l'intermédiaire de la Légation de Chine en France. La plus grande partie de la Note qui suit sera la reproduction de ce Rapport, abrégé en quelques endroits. Les dernières pages seront consacrées à la description complémentaire du dispositif simplifié, récemment réalisé.

### Le comparateur du Service des Poids et Mesures de l'Empire chinois.

#### I. — DESCRIPTION.

Le comparateur se compose essentiellement (*fig. 1*, ensemble) d'une large barre A portée par deux pieds, et munie à ses extrémités de deux plaques verticales B, sur lesquelles sont montés les organes de réglage et de manœuvre de l'instrument. La barre porte, sur ses deux bords, des divisions comprenant, sur l'un d'eux tous les cinquièmes de millimètre de  $-10$  à  $1010^{\text{mm}}$ , et sur l'autre tous les dixièmes de fun jusqu'à 320 funs (<sup>1</sup>). Aux plaques terminales B (*fig. 2*, à droite, vue en bout) sont adaptées des coulisses dans lesquelles glissent les supports de deux bancs auxquels on peut donner, à l'aide de vis, des mouvements en hauteur en vue de leur réglage. Ces bancs sont destinés à supporter les règles à

---

(<sup>1</sup>) La loi du 29 août 1908 fixe comme suit les unités de longueur pour l'Empire chinois (*Procès-verbaux des séances du Comité international des Poids et Mesures*, 1909, p. 133) :

	Longueur.	m
Hao.....	0,0001	0,000032
Li.....	0,001	0,00032
Fun.....	0,01	0,0032
Tchen.....	0,1	0,32
Tchi.....	(unité)	0,32
Pou.....	5 tchis	1,60
Tchan.....	10 tchis	3,20
Li.....	360 pous	576,00

déterminer, et à les amener en regard de la division du comparateur.

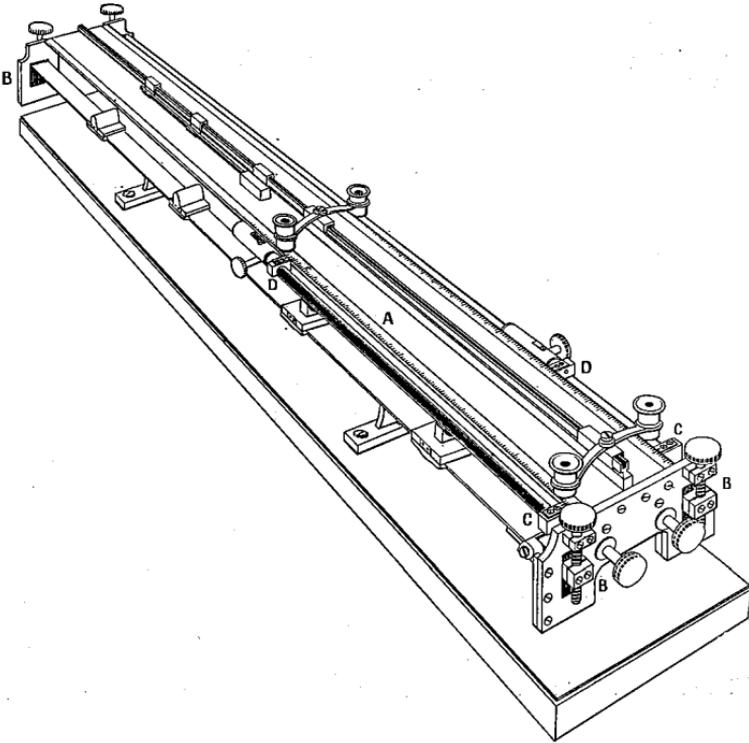


Fig. 1. — Comparateur du Service des Poids et Mesures de l'Empire chinois : A, Corps de l'instrument; B, Plaques portant des organes de réglage; C, Index de départ; D, Index mobiles.

La barre porte en outre à sa face inférieure des nervures longitudinales en queue d'aronde, sur chacune desquelles sont montées deux pièces glissantes C (*fig. 1* et *fig. 2*, à gauche, coupe); l'une d'elles, située près du zéro de la division correspondante (contact de départ), est commandée par une vis; l'autre D, susceptible de parcourir toute la coulisse (contact de mesure), peut être fixée, au moyen d'une vis de serrage, à une distance quelconque de la première. Le contact de mesure se compose, outre son guide,

porté par la nervure, d'un tube dans lequel est logé un ressort poussant dans la direction de l'origine une tige d'acier munie d'une plaque verticale; cette dernière, comme le contact d'origine, porte un index pointant contre la division du comparateur. C'est l'intervalle compris entre les traits de ces deux index qui, rapporté à l'échelle divisée du comparateur, donne, avec quelques corrections, la valeur de la pièce à étudier.

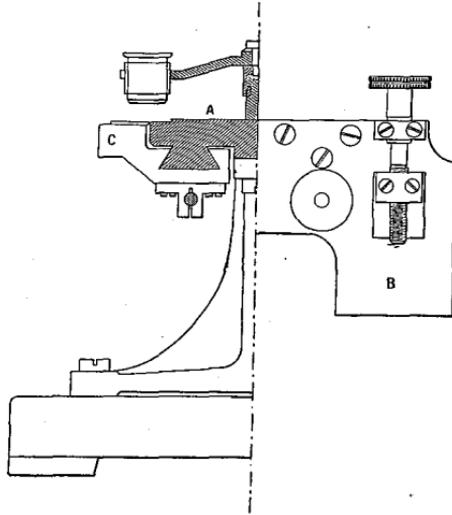


Fig. 2. — Détail du comparateur : à droite, vue en bout ; à gauche, coupe.

Les traits des index sont, sur le bord métrique, sensiblement de 1 millimètre en retrait de la face de contact. L'intervalle compris entre les deux traits doit donc être diminué, en principe, de 2 millimètres pour donner la valeur de l'étalon. Sur le bord chinois, l'intervalle, pour chaque pièce, est de 0,5 fun. C'est donc 1 fun qu'il faut retrancher de la longueur comprise entre les traits des index. Pour rappeler cette correction, l'index métrique porte la marque — 2, l'index chinois la marque — 1. En plaçant respectivement à — 2 millimètres et à — 1 fun les index, on lira donc directement les valeurs de l'étalon, sous la réserve des corrections qui seront énumérées plus loin.

A sa face supérieure, le comparateur porte une côte longitudi-

nale servant de glissière à deux paires de loupes destinées à faciliter la lecture des échelles.

La barre du comparateur est faite en un acier au nickel à 42 pour 100 de nickel, alliage très stable, peu oxydable, et dont le coefficient de dilatation est compris entre ceux des métaux et alliages usuels.

Le comparateur est accompagné de quelques organes accessoires : supports divers pour les règles à bouts ou à traits, plates ou à

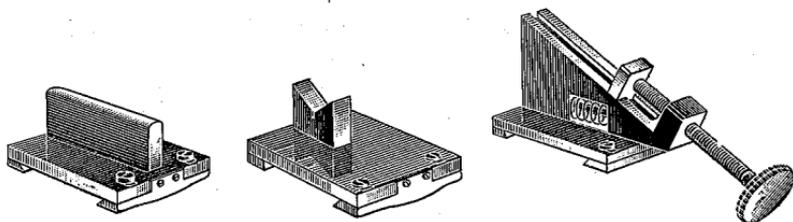


Fig. 3. — Supports pour règles plates, à bouts, à biseau.

biseau (*fig. 3*); étalons de contrôle; thermomètre et ses supports; couvercles.

L'un de ces derniers, spécialement destiné à protéger la partie du comparateur contre laquelle est appliqué le thermomètre, est échancré de manière à permettre l'observation de celui-ci. D'autres portent des entailles pour laisser passer le support des loupes, ou pour permettre la lecture de l'échelle. Enfin l'un des bords de chaque couvercle se relève de manière à découvrir une portion plus ou moins étendue de celle-ci.

## II. — CONDITIONS D'EMPLOI DU COMPARATEUR.

Deux cas principaux doivent être distingués dans l'emploi du comparateur : celui des étalons à traits et celui des étalons à bouts.

1° *Étalons à traits.* — L'étalon étant supporté sur les pièces horizontales s'il est plat lui-même, sur les pièces obliques s'il est à biseau, est monté ou abaissé, à l'aide des vis de réglage du banc, de telle sorte que le plan de sa division prolonge celui du

tracé de l'instrument. Il est buté contre le contact d'origine, le contact de mesure servant alors à l'appuyer contre le premier.

A l'aide de la vis de commande de celui-ci, on amène le zéro de la division de la règle à étudier en regard du zéro de l'échelle du comparateur, puis on estime, au moyen des loupes, les écarts entre les traits homologues des deux échelles. Ces écarts de coïncidence, corrigés des erreurs du comparateur, font connaître les erreurs de l'échelle étudiée.

2° *Étalons à bouts.* — L'étalon à bouts que l'on veut déterminer au moyen du comparateur est placé sur les pièces en forme de V portées sur le banc (*fig. 1*, à gauche). Si l'étalon possède des extrémités arrondies, ces dernières viennent en regard des centres des deux pastilles en acier incrustées dans les pièces de contact.

L'index d'origine est reculé d'abord, au moyen de sa vis de commande, de telle sorte que le trait de repère soit un peu en arrière du trait de départ. L'index de mesure est alors amené au simple contact avec l'étalon, et fixé dans cette position. Enfin, la pièce de départ est avancée, au moyen de la vis, jusqu'au trait de départ, de manière à tendre légèrement le ressort de l'index de mesure. La position du trait de l'index de mesure, corrigée des erreurs instrumentales, donne la longueur de la règle mesurée.

Dans toutes les déterminations précises, on devra prendre la température de l'instrument, et appliquer aux observations les corrections qui ramènent les valeurs trouvées aux conditions normales.

### III. — ÉTUDE DU COMPAREUR.

Cette étude a compris trois groupes distincts d'observations :

1° Mesures d'étalons à bouts dans des conditions variées, afin d'apprécier le degré de précision et de constance des indications de l'instrument;

2° Étude détaillée de la règle du comparateur, faisant connaître ses éléments de corrections;

3° Détermination, dans les conditions normales de l'emploi du comparateur, d'étalons à bouts de valeurs connues, de manière à fixer les limites de ses erreurs réelles.

A. Les mesures du premier groupe ont servi essentiellement à

déterminer le degré de précision que permet d'atteindre le comparateur et à achever son réglage. Elles ont montré, en particulier, que des prises de contact à des hauteurs variant de 2<sup>mm</sup> sur les pastilles fournissent les mêmes résultats dans les limites des erreurs d'observation ; la même constatation a été faite en amenant, par un mouvement d'avance ou de recul, l'index de départ sur le trait d'origine.

B. L'étude de la règle du comparateur s'est décomposée elle-même en deux opérations :

1° La détermination de sa dilatation, exécutée sur un échantillon de la même coulée ;

2° L'étude des intervalles principaux de sa division.

L'étude de la dilatation, faite par huit séries de mesures à des températures comprises entre 0°,45 et 37°,90, a conduit à la formule

$$l_t = l_0 (1 + 0,000007074 t - 0,0000000303 t^2),$$

qui exprime les variations de longueur de la règle en fonction de la température, mesurée dans l'échelle du thermomètre à mercure en verre dur.

Transformée dans l'échelle normale (thermomètre à hydrogène), cette formule devient

$$l_T = l_0 (1 + 0,000007115 T - 0,0000000361 T^2).$$

La détermination des erreurs de division du comparateur a été faite en rapportant chacun de ses intervalles décimétriques et chacun de ses intervalles égaux à 25 fms aux intervalles correspondants de la Règle normale n° 48 du Bureau international. Pour ces opérations, exécutées au moyen du Comparateur universel, le Comparateur chinois n'avait pas été démonté ; sa règle reposait sur ses deux pieds, comme pour son emploi.

Les intervalles de la règle du comparateur ont été mesurés, autant qu'il a été possible, à partir du zéro de chaque échelle ; seuls les intervalles les plus petits ont été déduits de déterminations faites en partant de l'autre extrémité de la règle. Une irrégularité de la règle sur le bord métrique a engagé à déterminer deux points supplémentaires à 75<sup>cm</sup> et 85<sup>cm</sup> de l'origine.

Le Tableau suivant contient les excès, positifs ou négatifs, des intervalles mesurés, sur leur valeur nominale :

EXCÈS A 0° DES INTERVALLES DU COMPARETEUR  
SUR LEUR VALEUR NOMINALE.

*Bord métrique.*

INTERVALLES en centimètres.	EXCÈS en microns.	INTERVALLES en centimètres.	EXCÈS en microns.
0 — 10	+ 1	0 — 70	+16
0 — 20	+ 8	0 — 75	+ 2
0 — 30	+ 7	0 — 80	— 8
0 — 40	+ 9	0 — 85	+ 5
0 — 50	+10	0 — 90	+ 5
0 — 60	+10	0 — 100	+ 4

*Bord chinois.*

INTERVALLES en funs.	EXCÈS en centièmes de hao.	INTERVALLES en funs.	EXCÈS en centièmes de hao.
0 — 25	+22	0 — 175	—13
0 — 50	+24	0 — 200	—29
0 — 75	+ 6	0 — 225	—38
0 — 100	+ 3	0 — 250	+ 4
0 — 125	— 7	0 — 275	+25
0 — 150	—12	0 — 300	+23

C. Les étalons mesurés au moyen du comparateur sont constitués par des tiges d'acier de 12<sup>mm</sup> de diamètre, terminées par des portions de sphères centrées sur le milieu de l'étalon.

Les mesures ont été faites en réglant le banc du comparateur de telle sorte que la prise de contact eût lieu à la hauteur du milieu des pastilles d'acier. Pour chaque longueur, on a fait deux groupes de six mesures chacun, en comprimant graduellement le ressort du

contact de mesure. Dans chaque groupe, le ressort était repoussé respectivement de 1<sup>mm</sup>, 3<sup>mm</sup> et 5<sup>mm</sup>, sur le bord métrique; de 0,3 fun, 0,8 fun et 1,3 fun sur le bord chinois; les mesures étaient faites en couples avec un décalage d'une demi-division.

Le dépouillement systématique des résultats obtenus avec des compressions diverses du ressort a donné, pour les longueurs des broches mesurées, des différences très petites : en moyenne 4<sup>μ</sup> sur le bord métrique et 3<sup>μ</sup> sur le bord chinois de diminution apparente des étalons entre la plus faible et la plus forte tension du ressort. Ces quantités sont à peine appréciables; toutefois comme, lorsqu'on comprime fortement le ressort, les index prenant des positions obliques rendent les lectures plus difficiles, on devra rester dans les limites de compression moyenne.

Aux résultats des mesures brutes, on a appliqué les corrections de division de la règle et les réductions ramenant les valeurs trouvées à la température de la glace fondante. Pour les étalons d'acier, on a employé la formule de dilatation suivante, rapportée à l'échelle du thermomètre à mercure en verre dur :

$$l_t = l_0 (1 + 0,000010407t + 0,0000000435t^2).$$

Dans l'échelle normale, cette dilatation est exprimée par

$$l_T = l_0 (1 + 0,000010469T + 0,0000000352T^2).$$

On a pu, par ces réductions, obtenir les valeurs que les mesures au comparateur conduiraient à attribuer aux étalons à bouts, et les comparer aux longueurs très exactement connues de ces étalons. Les valeurs brutes trouvées, leurs corrections et la comparaison des deux séries de longueurs des étalons mesurés sont rassemblées dans les Tableaux qui suivent :

# BORD MÉTRIQUE.

## PREMIER GROUPE.

MESURES FAITES A L'OPPOSÉ DE L'OBSERVATEUR.

ÉTALON.	TEMPÉ- RATURE.	VALEURS brutes — 2 <sup>m</sup> .	CORRECTIONS de division.	RÉDUCTION à 0°.	VALEURS DES ÉTALONS données par le comparateur.	VALEURS vraies.	DIFFÉRENCES.	δ (1).
		mm	μ	μ	mm	mm μ	μ	μ
100	7,74	100,015	+ 1	- 3	100,013	100 + 0	+13	+2
200	7,72	200,000	+ 8	- 5	200,003	200 - 14	+17	+6
300	7,75	299,995	+ 7	- 8	299,994	300 - 14	+ 8	-3
400	7,78	400,005	+ 9	-11	400,003	400 0	+ 3	-8
500	7,70	500,036	+10	-13	500,033	500 + 22	+11	0
600	7,81	600,016	+10	-16	600,010	600 + 1	+ 9	-1
700	8,42	700,014	+16	-20	700,010	700 0	+10	-1
800	8,34	800,047	- 8	-23	800,016	800 + 2	+ 8	-3
900	8,34	900,026	+ 5	-25	900,006	900 - 3	+ 9	-2
1000	8,40	1000,044	+ 4	-28	1000,020	1000 + 1	+19	+8
Moyenne .....							+11	

(1) Les δ du Tableau sont les écarts entre chacune des différences de l'avant-dernière colonne et leur moyenne.

# BORD MÉTRIQUE.

## SECOND GROUPE.

MESURES FAITES DU CÔTÉ DE L'OBSERVATEUR.

ÉTALON.	TEMPÉ- RATURE.	VALEURS brutes — 2 <sup>m</sup> .	CORRECTIONS de division.	RÉDUCTION à 0°	VALEURS DES ÉTALONS données par le comparateur.	VALEURS vraies.	DIFFÉRENCES.	δ.
100	8,02	mm 100,008	+ 1 <sup>μ</sup>	- 3 <sup>μ</sup>	mm 100,006	mm μ 100 + 0	+ 6 <sup>μ</sup>	+ 5 <sup>μ</sup>
200	8,02	199,993	+ 8	- 5	199,996	200 - 14	+ 10	+ 9
300	8,04	299,995	+ 7	- 8	299,994	300 - 14	+ 8	+ 7
400	8,04	400,007	+ 9	- 11	400,005	400 0	+ 5	+ 4
500	8,06	500,018	+ 10	- 14	500,014	500 + 22	- 8	- 9
600	8,06	600,003	+ 10	- 16	599,997	600 + 1	- 4	- 5
700	8,06	700,006	+ 16	- 19	700,003	700 0	+ 3	+ 2
800	8,04	800,037	- 8	- 22	800,007	800 + 2	+ 5	+ 4
900	8,02	900,010	+ 5	- 24	899,991	900 - 3	- 6	- 7
1000	8,00	1000,018	+ 4	- 27	999,995	1000 + 1	- 6	- 7
					Moyenne.....		+ 1	

On peut rassembler les  $\delta$  dans le Tableau suivant :

LONGUEUR mesurée.	PREMIER groupe.	SECOND groupe.	MOYENNE.	LONGUEUR mesurée.	PREMIER groupe.	SECOND groupe.	MOYENNE.
100 mm	+2 $\mu$	+5 $\mu$	+3 $\mu$	600 mm	-1 $\mu$	-5 $\mu$	-3 $\mu$
200	+6	+9	+7	700	-1	+2	0
300	-3	+7	+2	800	-3	+4	0
400	-8	+4	-2	900	-2	-7	-4
500	0	-9	-4	1000	+8	-7	0
	Moyenne.....		+1		Moyenne.....		-1000

Les moyennes pour les deux moitiés sont pratiquement identiques, d'où l'on conclut que le déplacement du contact le long de sa glissière n'introduit dans les résultats aucune erreur appréciable au degré de certitude des lectures.

En prenant la moyenne des écarts trouvés, on obtient la valeur la plus probable de la somme des erreurs de position des index, c'est-à-dire l'erreur de départ. Cette erreur changée de signe sera la correction au départ, que l'on devra ajouter aux corrections précédemment établies, pour obtenir la valeur vraie des étalons à bouts mesurés à l'aide du comparateur, après que cette valeur aura subi les corrections déjà indiquées.

L'erreur additionnelle de départ est ressortie à +11 $\mu$  dans le premier groupe et à +1 $\mu$  dans le second. L'écart de ces deux nombres s'explique par la différence de l'éclairage, jointe au fait que l'index, légèrement relevé par rapport au plan de la division, a produit des illusions sur la position rigoureuse des traits. L'écart n'est d'ailleurs que de .1 centième de millimètre. Il montre cependant l'importance considérable de l'éclairage, et impose la détermination de l'erreur de départ dans les conditions mêmes d'exposition du comparateur.

Pour le reste, les  $\delta$  sont remarquablement petits, et montrent que, lorsque des erreurs systématiques sont éliminées, l'instrument permet de garantir le centième de millimètre.

Les mesures sur le bord chinois ont donné les résultats contenus dans les Tableaux ci-après :

# BORD CHINOIS.

## PREMIER GROUPE.

MESURES FAITES A L'OPPOSÉ DE L'OBSERVATEUR.

ÉTALON.	TEMPÉ- RATURE.	VALEURS brutes — 1 fun.	CORRECTIONS de division.	RÉDUCTION à 0°.	VALEURS DES ÉTALONS données par le comparateur.		VALEURS vraies.	DIFFÉRENCES.	δ.
					fun	mm			
	°	fun	$\frac{\text{hao}}{100}$	$\frac{\text{hao}}{100}$	fun	mm	mm $\mu$	$\mu$	$\mu$
80	7,64	25,0038	+22	-6	25,0054	80,017	80 - 7	+24	-2
160	7,68	50,0062	+24	-13	50,0073	160,023	160 - 1	+24	-2
240	7,60	75,0092	+6	-19	75,0078	240,025	240 + 1	+24	-2
320	7,80	100,0037	+3	-26	100,0014	320,004	320 - 21	+25	-1
400	7,76	125,0162	-7	-33	125,0122	400,039	400 0	+39	+13
480	7,76	150,0058	-12	-39	150,0007	480,002	480 - 15	+17	-9
560	7,76	175,0137	-13	-46	175,0078	560,025	560 - 1	+26	0
640	8,16	200,0240	-29	-55	200,0156	640,050	640 + 23	+27	+1
720	8,22	225,0160	-38	-63	225,0059	720,019	720 - 6	+25	-1
800	8,22	250,0187	+4	-70	250,0121	800,038	800 + 2	+36	+10
880	8,27	275,0122	+25	-77	275,0070	880,022	880 - 1	+23	-3
960	7,90	300,0143	+23	-80	300,0086	960,028	960 + 1	+27	+1
Moyenne.....								+26	

# BORD CHINOIS.

## SECOND GROUPE.

MESURES FAITES DU CÔTÉ DE L'OBSERVATEUR.

ÉTALON.	TEMPÉ- RATURE.	VALEURS brutes - 1 fun.	CORRECTIONS de division.	RÉDUCTION	VALEURS DES ÉTALONS		VALEURS vraies.	DIFFÉRENCES.	δ.	
				à 0°.	donnés par le comparateur.					
				$\frac{\text{hao}}{100}$	$\frac{\text{ha.}}{100}$	fun	mm	mm $\mu$	$\mu$	$\mu$
80	7,86	25,0037	+22	-7	25,0052	80,017	80 - 7	+24	+3	
160	7,88	50,0087	+24	-13	50,0098	160,031	160 - 1	+32	+5	
240	7,92	75,0087	+6	-20	75,0073	240,023	240 + 1	+22	-5	
320	7,92	100,0022	+3	-27	99,9998	319,999	320 - 21	+20	-7	
400	7,90	125,0143	-7	-33	125,0103	400,032	400 0	+32	+5	
480	7,92	150,0082	-12	-40	150,0030	480,010	480 - 15	+25	-2	
560	7,82	175,0138	-13	-46	175,0079	560,025	560 - 1	+26	-1	
640	7,82	200,0250	-29	-53	200,0168	640,054	640 + 23	+31	+4	
720	7,82	225,0158	-38	-60	225,0060	720,019	720 - 6	+25	-2	
800	7,32	250,0183	+4	-62	250,0125	800,040	800 + 2	+38	+11	
880	6,79	275,0107	+25	-63	275,0069	880,022	880 - 1	+23	-4	
960	7,20	300,0132	+23	-73	300,0082	960,026	960 + 1	+25	-2	
Moyenne.....								+27		

On peut rassembler les  $\delta$  dans le Tableau suivant :

LONGUEUR mesurée.	PREMIER groupe.	SECOND groupe.	MOYENNE.	LONGUEUR mesurée.	PREMIER groupe.	SECOND groupe.	MOYENNE.
80 <sup>mm</sup>	— 2 <sup>μ</sup>	+ 3 <sup>μ</sup>	0 <sup>μ</sup>	560 <sup>mm</sup>	0 <sup>μ</sup>	— 1 <sup>μ</sup>	0 <sup>μ</sup>
160	— 2	+ 5	— 1	640	+ 1	+ 4	+ 2
240	— 2	— 5	— 3	720	— 1	— 2	— 1
320	— 1	— 7	— 4	800	+ 10	+ 11	+ 10
400	+ 13	+ 5	+ 9	880	— 3	— 4	— 3
480	— 9	— 2	— 5	960	+ 1	— 2	0
	Moyenne.....		— 1		Moyenne.....		+ 1

Les différences trouvées ont été exprimées en microns pour faciliter la comparaison avec les précédentes. La correction de départ est :

$$\begin{aligned} \text{Sur le bord opposé à l'observateur.....} & 26^{\mu} = 0,81^{\text{hao}} \\ \text{Sur le bord voisin de l'observateur.....} & 27 = 0,86 \end{aligned}$$

#### IV. — INDICATIONS PRATIQUES RELATIVES A L'EMPLOI DU COMPAREUR.

Aux indications sur l'emploi du comparateur implicitement contenues dans la description des éléments de son étude, on peut ajouter celles qui suivent.

Le comparateur doit être installé de telle sorte que les divisions soient éclairées aussi bien que possible. L'exposition devant une large fenêtre, assurant une lumière bien uniforme de toute l'échelle, est ce qu'on peut désirer de mieux. On peut tourner l'instrument de telle sorte que celle des deux échelles utilisée soit dirigée vers la fenêtre, ou vers l'observateur. Dans le premier cas, l'éclairage est certainement le meilleur, et nous avons vu que cette circonstance influe sur la correction au départ. L'action perturbatrice de l'observateur au point de vue de la température est beaucoup atténuée par les couvercles, qui devraient toujours être en place pour les mesures précises. Ils garantissent les parties mé-

talliques contre les dépôts de buée, due à l'haleine de l'opérateur, et susceptibles de produire de la rouille; ils constituent enfin une excellente protection contre la poussière.

Le thermomètre sera mis en place dans la région où il gênera le moins le mouvement des loupes. Son réservoir sera engagé dans la pièce d'aluminium qui le protège contre les échauffements trop rapides; il sera soutenu par les deux crochets fixés aux pièces qui glissent sur la nervure dorsale. Le couvercle spécial portant l'échancrure sera placé de façon à laisser découverte l'extrémité de la colonne.

Les précautions relatives à la température dépendront de la précision cherchée. Pour adopter une règle à cet égard, on notera que la dilatabilité de l'acier est de l'ordre du cent-millième par degré; celle du laiton, d'une valeur presque double. Si donc on veut que les erreurs du fait de la température n'atteignent pas le chiffre du centième de millimètre sur une règle d'acier de 1 mètre de longueur, il faudra être sûr de sa valeur à moins d'un degré près, et, pour une règle de laiton, d'un demi-degré environ.

Dans les variations rapides de la température, on ne peut pas compter que les indications du thermomètre correspondront, avec cette approximation, aux conditions mêmes du comparateur et de l'étalon. Le comparateur devra donc être installé dans une salle spacieuse, éloigné de tout appareil de chauffage, et ne devra être employé à des comparaisons précises que pendant les heures de stabilité de la température. Les règles à déterminer seront placées, quelques heures à l'avance, au voisinage immédiat du comparateur. Pour leur maniement, elles devront être saisies non avec la main, mais avec des pinces, de préférence en bois.

Le corps du comparateur a été fait, comme il a été dit, en un alliage de grande stabilité. On peut donc être assuré que, à moins d'accident grave, la valeur de son échelle se conservera parfaitement constante. Mais à la suite d'un choc, ou après un démontage, la constante de départ pourrait se trouver légèrement modifiée. C'est pourquoi il sera utile de déterminer de temps en temps cette quantité, en mesurant les étalons d'acier de  $32^{\text{mm}} = 1$  tchen et  $80^{\text{mm}} = 2,5$  tchens = 25 funs, accompagnant le comparateur.

Pour les raisons indiquées plus haut, on peut donner comme indication de refouler le ressort de  $2^{\text{mm}}$  environ sur le bord métrique et de 0,5 fun environ sur le bord chinois.

Le réglage du banc en hauteur pour la mesure des étalons à traits

est facile. Pour les règles plates, portées sur les supports horizontaux, on élèvera graduellement le banc, aux deux bouts, jusqu'à ce que les deux divisions apparaissent dans le même plan. Pour les règles à biseau, on opérera successivement avec les vis terminales et avec les vis des supports obliques, pour amener également les divisions dans le prolongement l'une de l'autre. Ces pièces obliques ont été ajustées sur des biseaux moyens. Une petite obliquité relative des plans des deux divisions est sans importance; si cette obliquité était trop forte, on y remédierait en calant la règle à l'un ou l'autre de ses bords.

Pour amener les règles à bouts à prendre contact au voisinage du milieu des pastilles d'acier, on pourra utiliser des tiges de contrôle comme le barreau de bronze accompagnant l'instrument. Les extrémités de ce barreau sont échancrées de telle sorte que, si leurs plans coupent les pastilles par un diamètre horizontal, un étalon à bouts sphériques, de 12<sup>mm</sup> de diamètre, viendra prendre contact au milieu de la pastille. Nous avons vu que le réglage contre cette dernière supporte une large tolérance.

[La fin du rapport était consacrée aux réductions et au calcul des Tables.]

### Comparteur simplifié pour les étalons métriques.

Pour la détermination des règles métriques, à traits ou à bouts, la barre de l'instrument (*fig. 4*) est divisée sur un bord seulement. La glissière à queue d'aronde qui guide le mouvement des pièces de contact est unique; elle a pu être placée à la face supérieure de la barre (coupé *fig. 5*), et servira en même temps comme support des loupes de lecture. L'une de celles-ci reste volante, comme dans l'instrument double, tandis que l'autre est vissée dans la pièce portant le contact de départ.

On a réalisé, pour le contact mobile (*fig. 6*), un perfectionnement de détail, évitant un léger inconvénient. Pour les lectures, l'index doit s'appliquer exactement contre le bord de la règle; mais, s'il reste en contact avec cette dernière pour ses déplacements, il éprouve, en même temps que l'extrémité des traits de l'échelle, une usure susceptible de diminuer, dans le cours du temps, la précision de l'instrument; de plus, il rassemble les grains de poussière

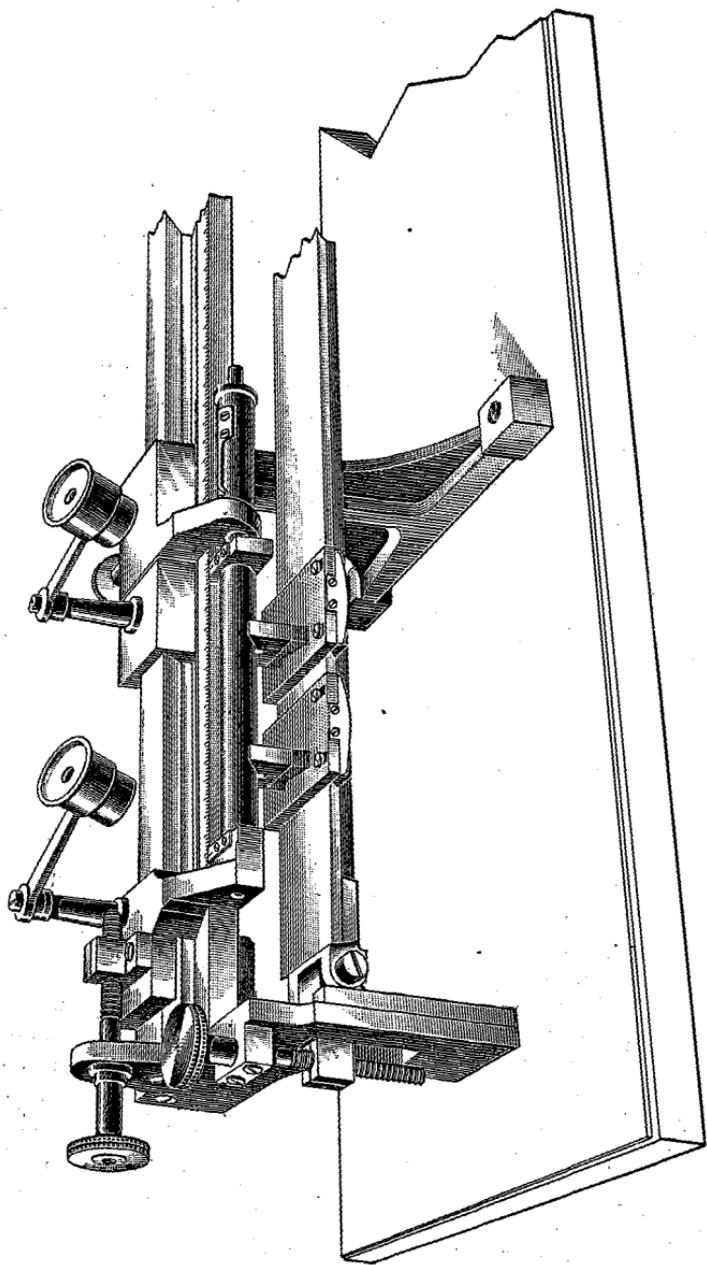


Fig. 4. — Comparateur simplifié, destiné à la détermination rapide des étalons métriques.

disséminés le long de la règle, et qui forment bientôt comme une touffe sur les deux bords de l'index.

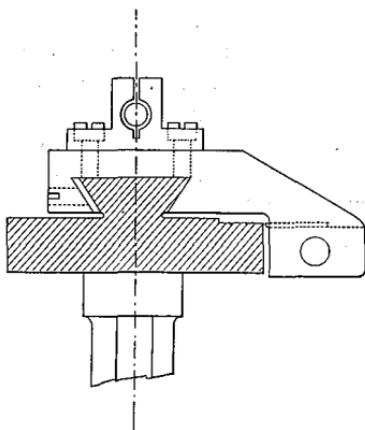


Fig. 5. — Coupe du banc et index de départ.

Pour éviter ces défauts, le ressort intérieur remplit une double fonction : tout en poussant la pièce de contact en avant, il lui donne une rotation qui l'écarte très légèrement du bord de la règle; mais,

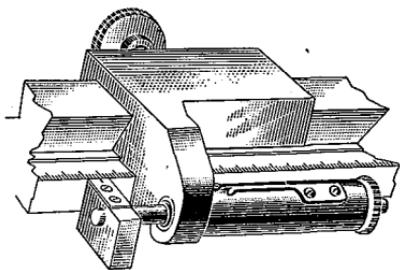


Fig. 6. — Contact mobile.

lorsque la pièce est refoulée en arrière, la tête de la vis qui la guide dans sa glissière vient appuyer contre un ressort plat, qui la pousse latéralement, et ramène le repère contre la règle. Ainsi, ce rapprochement du trait de repère et de la division n'est réalisé que dans les petits déplacements effectués par la pièce au cours d'une mesure.

Dans le comparateur du premier modèle, on avait obtenu un effet analogue, en montant le ressort intérieur de telle sorte qu'en se comprimant il exécutât une rotation dans le sens convenable; la fonction s'opère plus sûrement avec le dispositif actuel.

L'usage quotidien de l'instrument suggérera sans doute quelques modifications susceptibles de l'améliorer encore; tel qu'il est, il semble déjà pouvoir rendre de réels services aux bureaux principaux de vérification, souvent pris, dans la solution des multiples problèmes de la pratique courante, entre un outillage trop rudimentaire et des appareils très précis, mais compliqués et d'un maniement délicat.



---

## ANNEXE III.

---

### DESCRIPTION

ET

# ÉTUDE D'UNE MACHINE A MESURER

Par Ch.-Éd. GUILLAUME.

---

Les mesures industrielles exigeant une certaine précision sont généralement faites à l'aide de micromètres à vis, type palmer, susceptibles d'effectuer des déterminations dans un intervalle de peu d'étendue, 20 ou 25 millimètres, correspondant à la course de la vis dans son écrou. Le point de départ de cet intervalle est très approximativement connu, par la construction même de l'appareil, constitué par un arc rigide, portant l'écrou d'une part et une butée fixe de l'autre. Mais, comme les déformations de l'arc dues aux variations de la température, à l'usure ou à toute autre cause, peuvent provoquer de petits déplacements du point de départ, on n'est assuré de la longueur cherchée qu'en déterminant, par la mesure d'un étalon connu, la position d'un point quelconque de l'échelle de l'instrument. Celui-ci fonctionne alors comme micromètre différentiel et donne, dans ce mode d'emploi, le maximum de la précision dont il est susceptible.

Un certain nombre d'établissements nationaux de vérification déterminent aujourd'hui les étalons à bouts destinés à l'industrie, et dont la valeur est déduite de celle des étalons issus du Bureau international; mais aussi, beaucoup d'ateliers se sont outillés en vue de pouvoir effectuer des déterminations variées, généralement un peu moins précises que les précédentes, quoique suffisantes dans

un grand nombre de cas ; et c'est pour leur en donner la possibilité qu'ont été créées récemment les machines à mesurer, véritables comparateurs rapides, permettant d'aborder les problèmes divers que leur impose la métrologie industrielle.

Ces machines utilisent toutes le même principe : la longueur qu'on veut mesurer, matérialisée par la distance des faces terminales de l'étalon à bouts, est rapportée à une longueur connue, que donne une règle divisée, et que l'on complète par un intervalle d'appoint mesuré à l'aide d'un micromètre.

Toutefois, le mode d'application de ce principe comporte de nombreuses variantes. Le plus souvent, un microscope micrométrique, solidaire d'une butée, se déplace le long d'un banc bien dressé, et pointe la division d'une règle latérale, tandis qu'un micromètre à vis, situé à l'origine du banc, mesure les déplacements d'une butée de départ définissant, avec la butée mobile, une longueur parallèle au mouvement de celle-ci. On remarquera qu'une semblable machine ne peut fournir des résultats corrects que si le banc est rigoureusement rectiligne, puisque toute déviation dans la direction de la poupée mobile donne au microscope de l'avance ou du recul, soit dans le sens horizontal, soit dans le sens vertical.

L'office de la butée de départ est double. D'une part, elle est organisée de manière à assurer la constance de l'effort exercé sur la pièce à mesurer ; et, dans ce but, elle est reliée à la vis du micromètre par un ressort que l'on comprime en avançant cette vis, jusqu'à un point déterminé, que marque un index délicat, et dont la sensibilité d'indication doit correspondre à la précision attendue de la machine. D'autre part, la vis effectue l'interpolation entre deux traits consécutifs de la règle, à l'exception d'un appoint, qui peut être fait au moyen du micromètre porté par le microscope mobile. Cet appoint dépend naturellement de la distance des traits de la règle. Or les machines étant destinées à mesurer surtout des pièces d'acier, on a été naturellement conduit à faire la règle dans le même métal, afin d'éviter les calculs de dilatation ; et, en raison de sa facile oxydabilité, on a pratiqué les traits sur des mouches en saillie, qui sont nécessairement assez espacées. Dans les machines, d'ailleurs remarquablement exécutées, construites par la grande maison américaine Pratt et Whitney, les traits sont distants de 25<sup>mm</sup>, ce qui peut obliger à mesurer, à l'aide de la vis, une longueur de 12 à 13 millimètres.

Nous avons été conduits depuis quelques années à nous occuper des machines à mesurer, et leur perfectionnement étant, pour les industries mécaniques, d'une incontestable utilité, nous avons accepté de faire, à la demande de la Société genevoise, l'étude complète du fonctionnement d'un premier type, qui avait donné des résultats assez satisfaisants, mais contenait encore quelques défauts de principe. Ceux-ci ont été corrigés dans un instrument nouveau, dont l'étude, faite sous ma direction, a été commencée par M. Maudet et achevée par M. Pérard. C'est à cette dernière machine que sera consacrée la présente Note.

#### DESCRIPTION DE LA MACHINE.

Dans la machine de la Société genevoise, représentée par la figure 1, on retrouve les traits essentiels indiqués dans la description générale, donnée plus haut, du principe des appareils analogues. A gauche du bâti supportant les organes de mesure, se trouve la poupée fixe, dont la figure 2 montre le détail. A droite, on voit le chariot mobile portant la butée et la règle divisée; et, condition essentielle du fonctionnement de la machine, *la butée et la règle sont dans le même alignement*; ainsi, les mouvements de lacet n'agissant plus que par leur projection, sont ramenés au second ordre, au lieu d'être du premier ordre, comme dans les instruments où ils sont reportés latéralement par un microscope mobile, ou encore par une règle mobile que le chariot porte sur le côté.

L'inconvénient du dispositif actuel est de ne point utiliser, comme dans la machine à règle latérale, la place libre à côté de la poupée fixe, et d'obliger, par conséquent à allonger le banc vers la droite. Il a été réduit ici au minimum par un ingénieux artifice. Les déplacements de la règle sont mesurés non par un seul microscope, comme dans les autres machines, mais au moyen de deux microscopes, comprenant entre eux une distance égale à la longueur de la règle, et dont le premier, visant le trait de départ lorsque les butées sont au contact, sert à mesurer toutes les longueurs inférieures ou égales à celle de la règle elle-même. Lorsque celle-ci est arrivée à la limite de sa course sous le premier microscope, le second, formant comme un relais, la reprend pour un mouvement de même amplitude. Ainsi la machine permet, sans atteindre des dimensions exagérées, de déterminer une longueur double de celle

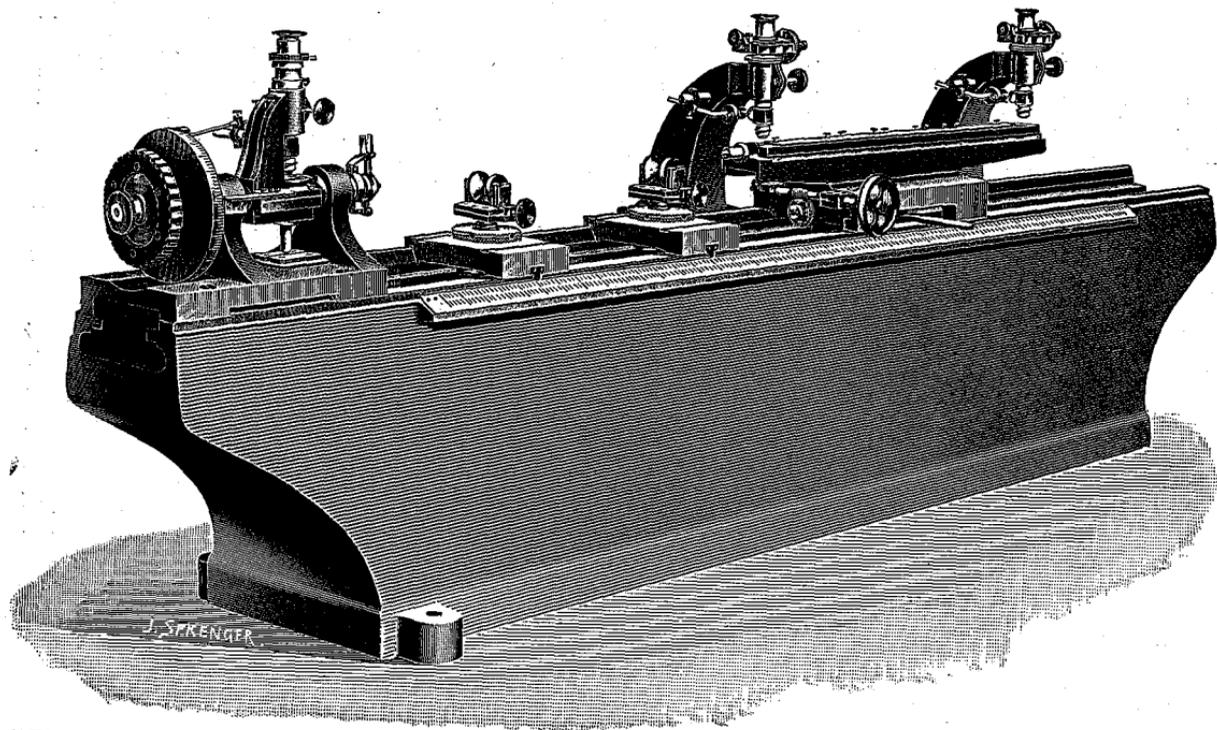


Fig. 1. — Machine à mesurer; vue d'ensemble. (Le banc est muni des supports mobiles pour un seul étalon.)

de la règle, soit 1<sup>m</sup> pour une règle de 50<sup>cm</sup>, dans celle dont nous avons fait l'étude.

Pour assurer un point de départ avec effort constant, la vis du micromètre fixe pousse en avant un arbre A (*fig. 2*) guidé par deux collets, et sur lequel est fixé un microscope muni d'une tige, qui, en passant dans une glissière, lui assure un mouvement rectiligne. Dans cet arbre glisse à frottement doux un piston, poussé en avant

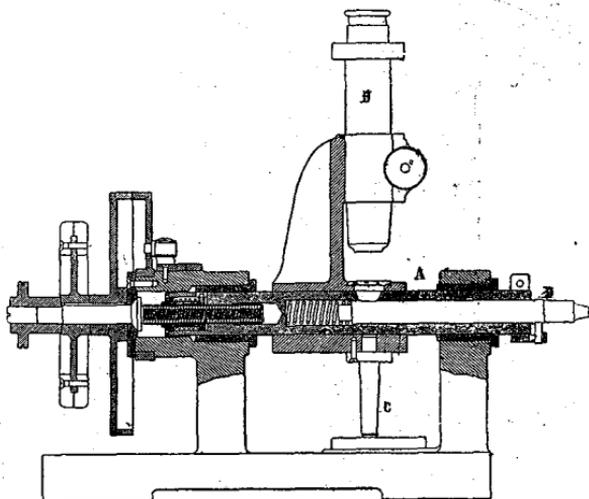


Fig. 2. — Détail de la poupée fixe; A, Arbre actionné par la vis; B, Microscope muni de la tige de guidage C; D, butée.

par un ressort, et qui peut rentrer dans son logement. C'est ce piston qui forme la butée. Lorsqu'il arrive en contact avec la pièce à mesurer, il reste en place, tandis que l'arbre continue à avancer, en même temps que le microscope; et bientôt on aperçoit, dans le champ de ce dernier, un trait que porte le palpeur, et que l'on amène à se projeter entre les fils fixes, formant micromètre oculaire. Ce pointé étant fait, on est sûr à la fois de la position du point de départ et de l'effort, qui est réglé par l'écrasement constant du ressort.

Le micromètre de départ permet de mesurer 20 millimètres, soit 40 tours de la vis; mais une mesure aussi étendue est généralement superflue; en effet, la règle, faite en un acier à 57 pour 100 de nickel, très résistant à l'oxydation, et possédant une dilatation peu différente

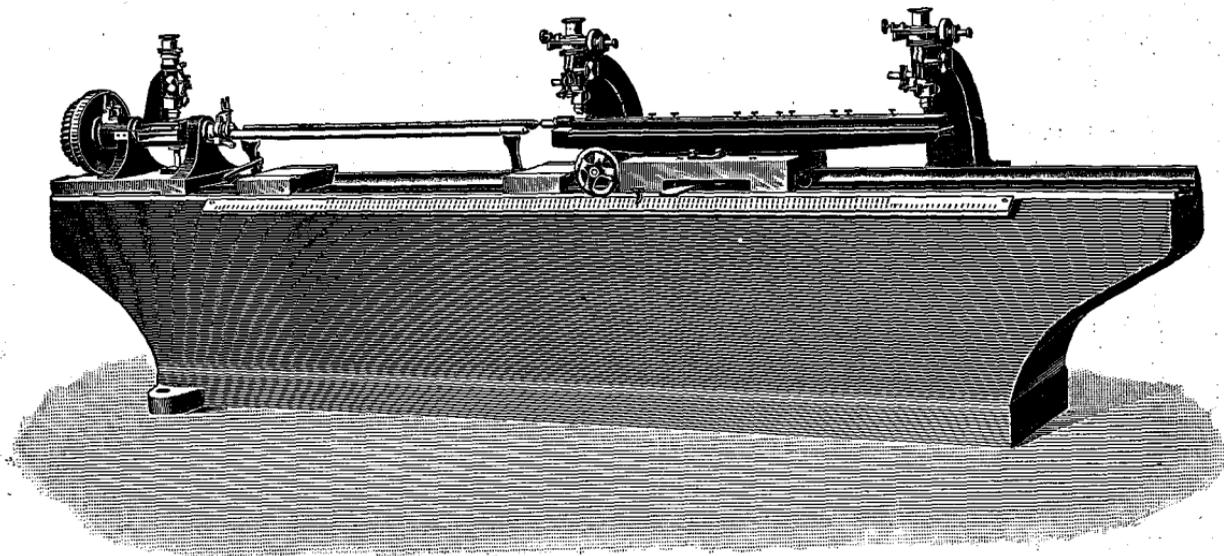


Fig. 3. — Vue d'ensemble de la machine (le basculeur porte deux étalons en forme de broche).

de celle de l'acier doux, est divisée en millimètres; et, si l'espacement des traits est bien régulier, on peut admettre, avec une approximation élevée, la position de chacun d'eux déduite par interpolation de celle des traits centimétriques, déterminés directement.

Les organes accessoires de la machine sont ceux qui assurent le déplacement micrométrique du banc mobile, à l'aide d'une vis tangente et d'une vis longitudinale, que l'on peut débrayer pour les mouvements rapides; deux supports pour les pièces à mesurer (*fig. 1*), un basculeur pour l'échange d'étalons de la même forme entre les palpeurs (*fig. 3*), enfin des couvercles de protection contre les variations rapides de la température.

#### ÉTUDE DE LA MACHINE.

*Règle.* — La dilatation de la règle a été déduite de celle d'une barre de la même coulée, et d'une longueur supérieure à 1<sup>m</sup>. Rapportée à l'échelle du thermomètre à mercure en verre dur, cette dilatation est exprimée par la formule

$$l_t = l_0(1 + 0,000011476t + 0,0000000360t^2).$$

Ramenée à l'échelle normale, cette formule devient :

$$l_T = l_0(1 + 0,000011544T + 0,0000000268T^2).$$

La longueur totale de la règle a été déterminée par comparaison avec les deux moitiés de la Règle n° 48 du Bureau. L'étude de la division a été faite par un étalonnage direct. L'ensemble de ces déterminations a conduit, pour les valeurs à 0° des intervalles de la règle, aux nombres inscrits dans le Tableau ci-après (1) :

---

(1) Le centième de micron n'est donné qu'à titre d'indication, et pour éviter l'accumulation des erreurs par l'interpolation.

Excès sur la valeur nominale		Excès sur la valeur nominale		Excès sur la valeur nominale	
Millimètres.	à partir de 0.	Millimètres.	à partir de 0.	Millimètres.	à partir de 0
	$\mu$ 0..... 0,00	140..... $\mu$ -0,38		370..... $\mu$ -3,61	
	10..... -3,15	150..... -2,22		380..... -4,64	
	20..... -3,52	160..... -3,48		390..... -5,59	
	30..... -2,04	170..... -2,19		400..... -5,11	
	40..... -0,07	180..... -1,72		410..... -4,76	
	50..... +0,86	190..... -2,24		420..... -5,43	
	51..... +0,94	200..... -2,84		430..... -6,09	
	52..... +1,00	210..... -2,52		440..... -5,71	
	53..... +0,72	220..... -1,39		450..... -5,69	
	54..... +0,87	230..... -1,55		460..... -5,81	
	55..... +0,75	240..... -2,32		470..... -6,45	
	56..... +0,80	250..... -2,22		480..... -5,06	
	57..... +0,69	260..... -2,04		490..... -4,04	
	58..... +0,39	270..... -2,52		491..... -4,36	
	59..... +0,49	280..... -3,22		492..... -4,29	
	60..... +0,50	290..... -2,56		493..... -4,24	
	70..... +0,55	300..... -1,56		494..... -4,09	
	80..... +0,69	310..... -1,23		495..... -4,04	
	90..... +0,55	320..... -2,15		496..... -4,16	
	100..... +0,84	330..... -1,98		497..... -4,18	
	110..... +0,36	340..... -4,31		498..... -4,06	
	120..... +0,16	350..... -4,43		499..... -4,19	
	130..... -0,81	360..... -3,87		500..... -4,00	

*Vis.* — L'étude de la vis a consisté, en plus de la détermination du tour moyen, dans un étalonnage en quatre parties, suivi d'une subdivision de millimètre en millimètre, par comparaison avec les intervalles correspondants de la règle; les déplacements de celle-ci sous les microscopes étaient rendus solidaires de ceux du palpeur D, par l'intermédiaire d'une broche à bouts sphériques. Les résultats bruts ont été affranchis des petites irrégularités dues pour la plus grande part aux erreurs d'observation, par le tracé d'une courbe moyenne, assurant leur continuité. Les valeurs ainsi trouvées pour les divers tours de la vis sont données ci-après :

Tours.	Valeurs.	Tours.	Valeurs.
0- 1.....	999,58 <sup>μ</sup>	10-11.....	999,96 <sup>μ</sup>
1- 2.....	999,64	11-12.....	999,98
2- 3.....	999,70	12-13.....	1000,00
3- 4.....	999,75	13-14.....	1000,02
4- 5.....	999,79	14-15.....	1000,04
5- 6.....	999,82	15-16.....	1000,05
6- 7.....	999,86	16-17.....	1000,07
7- 8.....	999,89	17-18.....	1000,08
8- 9.....	999,92	18-19.....	1000,09
9-10.....	999,94	19-20.....	1000,10

*Tares des microscopes.* — On a déterminé, pour chacun des microscopes, la valeur du tour moyen; on a trouvé ainsi :

Microscope central.	Microscope droit.
1 tour..... 101 <sup>μ</sup> ,960	1 tour..... 100 <sup>μ</sup> ,858

*Étude du fonctionnement et mesures effectives.* — Une première série d'essais, relatifs au temps perdu du micromètre de départ, ayant conduit à des résultats peu satisfaisants, le micromètre fut renvoyé à Genève, où il subit une modification consistant dans l'adjonction d'un ressort de calage intérieur, destiné à supprimer le jeu; à partir de cette modification, on ne put plus constater aucun temps perdu. On s'attacha néanmoins, dans l'étude de la vis, comme dans toutes les comparaisons qui l'ont suivie, à opérer dans des conditions symétriques, par des mouvements d'avancement ou de recul de la vis, ou par des déplacements dans les deux sens effectués par le chariot. Les appoints ont été en outre mesurés soit par le micromètre de départ, soit par ceux des microscopes. C'est ainsi que toute mesure a fait intervenir des déplacements dans les deux sens, produits par les deux procédés.

*Comparaison d'étalons courts.* — Afin de séparer les erreurs instrumentales proprement dites de celles qu'apporte le défaut d'uniformité de la température, on commença par comparer entre eux des étalons de petites dimensions, 50<sup>mm</sup> au maximum, constitués par des broches cylindriques limitées par des bouts sphériques. Par le fait même qu'on ne cherchait pas leurs valeurs absolues, mais

seulement leurs différences, on éliminait, de plus, l'incertitude du contact de départ.

Les mesures étant achevées, on calcula les différences entre les broches comme dans un étalonnage, sans s'occuper de leurs valeurs absolues. Le Tableau suivant contient, à côté de l'indication de la combinaison utilisée, l'erreur résiduelle de la mesure correspondante. La petitesse de ces nombres montre que l'appareil, est d'un fonctionnement très précis :

Différences mesurées.	Observé-Calculé.
[50]-[40].....	+0,08 <sup>μ</sup>
[50]-[30].....	+0,02
[50]-[20].....	-0,13
[50]-[10].....	+0,03
[40]-[30].....	+0,11
[40]-[20].....	-0,03
[40]-[10].....	+0,01
[30]-[20].....	+0,15
[30]-[10].....	-0,02
[20]-[10].....	-0,02

*Erreur au départ.* — Les palpeurs ordinaires étant plans, on ne pouvait songer à les amener au contact pour déterminer la constante de départ. On chercha donc à établir cette dernière en effectuant des mesures répétées d'un même étalon, celui de 100<sup>mm</sup>.

Les résultats furent peu satisfaisants. Sans cause apparente, les valeurs absolues varièrent au total dans un intervalle de 2<sup>μ</sup> environ. C'est pourquoi, dans les mesures qui suivirent, on ne considéra pas le point de départ comme constant; mais, se référant à la remarquable concordance des déterminations relatives, on considéra chaque mesure comme une comparaison, à grande différence, avec la broche de 100<sup>mm</sup>.

*Mesure des grandes différences.* — Ces mesures n'ont fait intervenir que des broches dont la valeur avait été déterminée par des procédés très précis, et qui pouvaient être considérées comme connues à 2 ou 3 dixièmes de micron près.

La broche à mesurer était placée entre les palpeurs, alternativement avec celle de 100<sup>mm</sup>; chaque comparaison comporta en principe quatre séries de mesures exécutées symétriquement, et entre cha-

cune desquelles les deux broches étaient tournées d'un quart de tour, et l'une ou l'autre retournée bout pour bout,

Le Tableau suivant contient, avec les résultats des mesures ainsi effectuées, les différences des étalons déduites de leurs valeurs absolues :

Étalons comparés.	Différences admises.	Différences trouvées.	$\delta$ .
[200]-[100]. . . . .	+0,12	+0,81	+0,69
[300]-[100]. . . . .	+0,72	+1,18	+0,46
[400]-[100]. . . . .	+1,07	+1,12	+0,05
[500]-[100]. . . . .	-2,57	-2,98	-0,41
[600]-[100]. . . . .	+2,04	+1,09	-0,95
[700]-[100]. . . . .	+0,96	+2,29	+1,33
[800]-[100]. . . . .	+2,10	+2,69	+0,59
[900]-[100]. . . . .	-2,91	-2,15	+0,76
[1000]-[100]. . . . .	+1,27	+1,02	-0,25

Les écarts, on le voit, sont peu considérables et pourraient être raisonnablement considérés comme ne dépassant pas la somme possible des erreurs accidentelles. Toutefois, en les examinant de près, on reconnaît dans leur suite une allure systématique bien nette. Partant d'une valeur positive, ils diminuent peu à peu, deviennent négatifs, puis repassent d'un coup à une forte valeur positive et diminuent de nouveau. Or la période de cette variation de l'erreur est précisément égale à la longueur de la règle; et il semble naturel de chercher, dans les valeurs admises pour cette dernière, la raison d'une partie au moins des écarts trouvés.

L'étude de la règle ayant été très bien faite, on ne devra pas supposer, dans les corrections qui lui ont été attribuées, d'erreurs susceptibles d'être mises en évidence par les mesures actuelles. Mais la règle, montée sur la machine, ne se trouve pas exactement dans les conditions de son étude; elle est serrée, par une vis, contre un petit plan faisant partie du chariot, et s'appuie par un autre point sur ce dernier. Ce mode de fixation est évidemment défectueux; il peut, en effet, provoquer une flexion de la règle, différente de celle qu'elle possédait dans son étude, pour laquelle elle était simplement posée sur deux supports, à la même distance que ceux de la machine. La règle étant tracée sur sa surface supérieure, et non sur le plan

dés fibres neutres, il peut résulter, de cette différence des flexions, des écarts sensibles entre les longueurs qu'elle définit.

Cette interprétation étant admise pour les écarts trouvés par l'étude de la machine, on sera tout naturellement conduit à modifier le montage de la règle, à laquelle on laissera, sur ses supports, une plus grande liberté; ainsi débarrassée de la plus importante parmi les sources d'erreur qu'elle renferme encore, la machine sera susceptible de fournir des résultats très précis.

---

## ANNEXE IV.

---

### ÉTUDES

SUR LA

# FLEXION DE LA RÈGLE GÉODÉSIQUE EN INVAR

DU BUREAU INTERNATIONAL;

Par Ch.-Éd. GUILLAUME.

---

Les variations réelles ou apparentes qu'éprouvent les règles-étalons suivant la position de leurs points de support ont déjà fait, soit au Bureau international <sup>(1)</sup>, soit dans d'autres Instituts métrologiques <sup>(2)</sup>, l'objet d'études théoriques ou expérimentales, systématiquement conduites. On a ainsi comparé les résultats du calcul à ceux donnés par la mesure de la distance de deux traits tracés sur des règles de formes et de matières diverses, portés en des points variables en position, mais en général symétriquement situés par rapport au centre de la règle.

La plupart des étalons ainsi étudiés étaient de faible longueur. Exceptionnellement, M. Benoit a mesuré les variations d'une règle

---

<sup>(1)</sup> O.-J. BROCH, *Comparaisons des règles dans le comparateur Brunner* (*Trav. et Mém.*, t. VII, 1890); J.-René BENOIT, *Rapport sur la construction, les comparaisons et les autres opérations ayant servi à déterminer les équations des nouveaux prototypes métriques* (*Trav. et Mém.*, t. VII, p. 22 et suiv.).

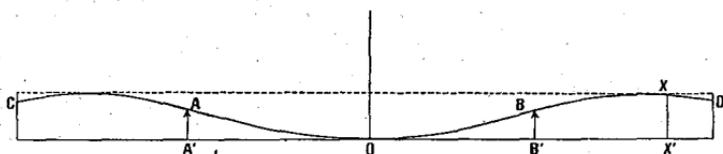
<sup>(2)</sup> Voir notamment F.-W. BESSEL, *Darstellung der Untersuchungen und Maassregeln welche, in den Jahren 1835 bis 1838, durch die Einheit des Preussischen Längenmaasses veranlasst worden sind*. Beilage I (Berlin, 1839); A.-R. CLARKE, *Comparisons of Standards of Length, etc.* (London, 1866).

géodésique en fer, de 4<sup>m</sup>, de forte section, et par conséquent très rigide. Or les étalons géodésiques construits plus récemment, et pour lesquels on a cherché le maximum de légèreté compatible avec une robustesse encore suffisante, prennent des flexions sensiblement plus fortes; et le fait que ces étalons sont faits en invar libre à peu près les résultats des erreurs de température, et permet d'opérer dans l'air, ce qui facilite beaucoup les mesures. Pour ces diverses raisons, une étude de la flexion de notre règle géodésique de 4<sup>m</sup> au côté présentait un certain intérêt; on trouvera, dans la suite de cette Note, les résultats de celle que j'ai eu l'occasion de lui consacrer.

I. — RAPPEL DES FORMULES.

Soient CAOBD (*fig. 1*) l'axe neutre d'une règle de section uniforme, A et B la projection verticale des deux points de support, à  $\frac{1}{2}l$  de part et d'autre du milieu O; X' un point de la règle

Fig. 1.



d'abscisse  $x$ , extérieur aux supports;  $p$  le poids linéaire de la règle;  $E$  son module d'élasticité,  $I$  son moment d'inertie;  $L$  sa longueur totale.

La longueur  $OB + BX' = OX'$ , mesurée sur le plan des fibres neutres, différera de la distance rectiligne  $OX$ , d'une petite quantité positive, résultant des deux équations <sup>(1)</sup> :

$$(1) \quad OB = \frac{1}{2}l + \frac{1}{768} \left( \frac{p}{EI} \right)^2 L^7 \\ \times \left[ \frac{1}{4} \left( \frac{l}{L} \right)^3 - \left( \frac{l}{L} \right)^4 + \frac{11}{10} \left( \frac{l}{L} \right)^5 - \frac{1}{5} \left( \frac{l}{L} \right)^6 + \frac{1}{84} \left( \frac{l}{L} \right)^7 \right]$$

<sup>(1)</sup> O.-J. BROCH, *Comparaisons*, etc.

et

$$\begin{aligned}
 (2) \quad BX' &= x - \frac{1}{2}l + \frac{1}{8} \left( \frac{p}{EI} \right)^2 L^7 \\
 &\times \left\{ \frac{1}{64} \left( \frac{l}{L} \right)^4 \left[ \left( \frac{x}{L} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{l}{L} \right) \right] \right. \\
 &\quad - \frac{1}{32} \left( \frac{l}{L} \right)^2 \left[ \left( \frac{x}{L} \right)^2 - \frac{1}{4} \left( \frac{l}{L} \right)^2 \right] \\
 &\quad + \frac{1}{48} \left[ 1 + 2 \left( \frac{l}{L} \right)^2 \right] \left[ \left( \frac{x}{L} \right)^3 - \frac{1}{8} \left( \frac{l}{L} \right)^3 \right] \\
 &\quad - \frac{1}{16} \left[ 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{l}{L} \right)^2 \right] \left[ \left( \frac{x}{L} \right)^4 - \frac{1}{16} \left( \frac{l}{L} \right)^4 \right] \\
 &\quad + \frac{1}{12} \left[ \left( \frac{x}{L} \right)^5 - \frac{1}{32} \left( \frac{l}{L} \right)^5 \right] - \frac{1}{18} \left[ \left( \frac{x}{L} \right)^6 - \frac{1}{64} \left( \frac{l}{L} \right)^6 \right] \\
 &\quad \left. + \frac{1}{63} \left[ \left( \frac{x}{L} \right)^7 - \frac{1}{128} \left( \frac{l}{L} \right)^7 \right] \right\},
 \end{aligned}$$

qui se réduisent à

$$\begin{aligned}
 (3) \quad OBD &= \frac{1}{2} L + \frac{1}{1536} \left( \frac{p}{EI} \right)^2 \\
 &\times L^7 \left[ \frac{3}{28} - \frac{3}{4} \left( \frac{l}{L} \right)^2 + \frac{7}{4} \left( \frac{l}{L} \right)^4 - \frac{4}{5} \left( \frac{l}{L} \right)^5 + \frac{1}{60} \left( \frac{l}{L} \right)^6 \right],
 \end{aligned}$$

si le point X' est situé à l'extrémité de la règle.

La tangente à la courbe élastique au point X' est inclinée sur l'horizon de la quantité

$$(4) \quad \text{tang } \varphi = \frac{1}{2} \frac{p}{EI} L^3 \left[ \frac{1}{8} \left( \frac{l}{L} \right)^2 - \frac{1}{4} \left( \frac{x}{L} \right) + \frac{1}{2} \left( \frac{x}{L} \right)^2 - \frac{1}{3} \left( \frac{x}{L} \right)^3 \right].$$

Cette dernière est importante à connaître, puisqu'elle représente la déviation de la section portant l'un des traits qu'on vise, et qui est ainsi déplacé, par rapport à sa position normale, de  $e \text{ tang } \varphi$ ,  $e$  étant la distance du point considéré à la fibre neutre. Cette quantité, ajoutée au raccourcissement apparent de la règle mesurée sur la fibre neutre, donnera le déplacement total du trait, rapporté au point central O.

Pour un trait situé dans la tranche extrême  $\left( x = \frac{1}{2} L \right)$ , la dernière formule se réduit à

$$(4') \quad \text{tang } \varphi = \frac{1}{2} \frac{p}{EI} L^3 \left[ \frac{1}{8} \left( \frac{l}{L} \right)^2 - \frac{1}{24} \right].$$

La valeur de la flèche, pour la portion de la règle comprise entre les supports, est donnée par la formule

$$(5) \quad f = \frac{1}{2} \frac{P}{EI} L^4 \left[ -\frac{1}{32} \left( \frac{l}{L} \right)^2 + \frac{1}{16} \left( \frac{l}{L} \right)^3 - \frac{1}{192} \left( \frac{l}{L} \right)^4 \right]$$

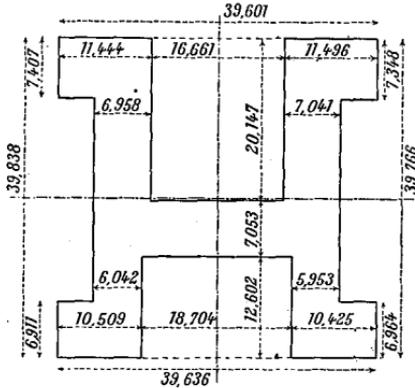
et, pour les segments extérieurs,

$$(5') \quad f' = \frac{1}{2} \frac{P}{EI} L^4 \left[ \frac{1}{64} - \frac{3}{32} \left( \frac{l}{L} \right)^2 + \frac{1}{12} \left( \frac{l}{L} \right)^3 - \frac{1}{192} \left( \frac{l}{L} \right)^4 \right].$$

## II. — CONSTANTES DE LA RÈGLE ET MESURE DES DÉFORMATIONS.

La règle possède une section en H à talons, pratiquement uniforme, comme l'ont montré des mesures détaillées, faites à tous les dixièmes successifs de sa longueur; les moyennes des nombres trouvés sont portées dans le croquis ci-dessous (fig. 2) :

Fig. 2.



Section avec cotes millimétriques de la règle étudiée.

Comme on le voit, la section présente, de droite à gauche, des défauts de symétrie bien appréciables; et, si l'on calcule les centres de gravité des deux demi-sections à gauche et à droite de la ligne médiane, on les trouve respectivement à 19<sup>mm</sup>,828 et 19<sup>mm</sup>,846 de la base. Le centre de gravité de l'ensemble est à 19<sup>mm</sup>,837 de la face inférieure, soit à 0<sup>mm</sup>,182 au-dessus de la surface A (fig. 3), portant les traits principaux.

La longueur totale de la règle est de 4054<sup>mm</sup>. Son poids, déterminé à l'aide de deux balances, qui la supportaient par ses deux extrémités, a été trouvé égal à 25,475 kg-poids, soit 6,283 g-poids par millimètre courant.

Le moment d'inertie de la section a été calculé (par M. H. Perrotin), soit en supposant une forme symétrique de gauche à droite, soit en considérant des rotations autour d'un axe passant par les centres de gravité des deux demi-sections; les résultats ainsi obtenus sont pratiquement équivalents. On a admis :

Autour de l'axe horizontal . . . . .  $I_p = 105345\text{mm}^4$   
Autour de l'axe vertical . . . . .  $I_h = 120910\text{mm}^4$

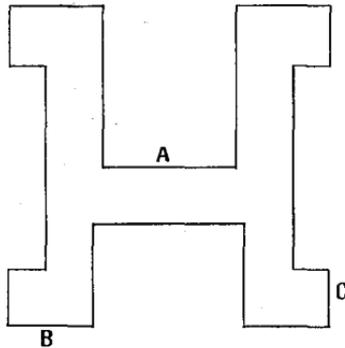


Fig. 3. — A, B, C, Surfaces portant les traits.

La mesure des longueurs a été faite, à l'aide du comparateur géodésique, sur des traits situés à une distance de  $4^m$  assez exactement, portés par les surfaces A, B et C (fig. 3). Pour chacune des séries de mesures, la règle était posée sur deux cales de bois, terminées par une arête étroite, et qu'on plaçait, symétriquement par rapport au milieu, à des distances égales aux dixièmes successifs de celle des traits de repère; la plus faible distance des cales a été de  $400^{mm}$ .

Au point de vue du calcul, nous aurons à considérer deux espèces de déformations. Les unes, mesurées sur la surface A, différeront peu de celles qu'on aurait trouvées par des déterminations faites sur le plan des fibres neutres; on les ramènera à cette dernière condition par une petite correction, que l'on considérera comme sans erreur appréciable. Les autres, relatives aux traits en B et C au contraire, seront, pour la plus grande partie, constituées par les rotations des sections. En retranchant des quantités mesurées celles qui auront été trouvées pour la surface neutre, on isolera la part revenant aux rotations. Pour B, le problème ne semblait présenter

*a priori* aucune difficulté, puisque le raccourcissement apparent de la fibre neutre est directement mesuré dans les conditions où le moment d'inertie  $I_0$  s'applique au calcul de la déformation; des écarts systématiques entre les longueurs observées et calculées ont cependant fait découvrir une cause d'erreur insoupçonnée, et qui a nécessité une étude de la forme initiale de la règle. En l'absence de cette source d'erreur, il eût suffi, pour réduire les observations faites en C, de multiplier les variations corrigées du plan A par le rapport inverse des carrés des moments d'inertie, conformément aux indications des formules (1) et (2).

Les équations exprimant les deux ordres de déformations renferment des grandeurs géométriques : dimensions transversales et longitudinales de la règle, distance des supports; et des grandeurs physiques : poids linéaire de la règle et module d'élasticité.

De toutes ces grandeurs, le module d'élasticité seul n'est pas déterminé par des mesures indépendantes, mais peut être déduit des variations de longueur de la règle. On sait, en effet, que le module d'élasticité d'un métal ou alliage chimiquement défini varie entre des limites assez étendues, suivant sa compacité, son état d'écrasement, etc.; et les expériences que j'ai faites en mesurant la flèche prise par des barres d'invar chargées en leur milieu, tout en montrant que le module de cet alliage est voisin de 15 tonnes-force : mm<sup>2</sup>, ont fourni des résultats oscillant dans l'intervalle d'une demi-unité de part et d'autre de ce nombre.

On pourrait donc considérer le module comme inconnu; mais, étant donnés les deux ordres de déformations, qui le font intervenir à des puissances différentes, le calcul ainsi conduit manquerait de clarté. Il m'a paru plus simple de faire un calcul provisoire, en admettant un module qui satisfait approximativement aux mesures, et de discuter ensuite les écarts entre les données de l'expérience et celles du calcul.

Ce dernier comprend deux phases distinctes, dont l'une se rapporte aux fonctions entre parenthèses, l'autre aux facteurs contenant les constantes de la règle. Les premières donnent la forme de la courbe de raccourcissement de la fibre neutre, ou d'inclinaison de la section portant les traits en fonction de la position des supports; les constantes établissent l'échelle de ces quantités.

Soit  $\alpha$  le rapport  $\frac{l}{x}$  pour la plus petite distance des supports (400<sup>mm</sup>); on peut former d'abord, en prenant  $\alpha$  comme argument,

le Tableau des quantités entre parenthèses dans les formules (1), (2) et (4). Elles sont rassemblées ici :

$\frac{l}{x}$	$10^3 \text{ fact. [OB].}$	$10^3 \text{ fact. [BX'] .}$	$10^3 \text{ fact [tang } \varphi \text{].}$
0a.....	0,000	0,5465	-42,79
1a.....	0,155	0,5083	-41,54
2a.....	0,722	0,4020	-37,79
3a.....	1,174	0,2578	-31,54
4a.....	0,901	0,1185	-22,79
5a.....	0,129	0,0244	-11,54
6a.....	0,722	0,0018	+ 2,21
7a.....	6,878	0,0495	+18,46
8a.....	25,715	0,1302	+37,21
9a.....	67,758	0,1598	+58,46
10a.....	147,332	0,0000	+82,21

Le calcul des quantités relatives à OB et BX' est compliqué, le dernier surtout, et il importait d'en contrôler le résultat par une voie détournée. On l'a donc repris pour les valeurs extrêmes de  $l$  sous une forme plus simple, en supposant d'abord les traits situés dans la tranche terminale  $\left[ x = \frac{1}{2} L, \text{ équation (3)} \right]$ , et en les ramenant aux positions véritables par une petite correction relative à l'inclinaison des excédents.

### III. — MESURES AU VOISINAGE DE LA FIBRE NEUTRE.

Pour établir la comparaison entre les quantités observées et calculées, on a introduit d'abord, dans les facteurs

$$\frac{1}{768} \left( \frac{P}{EI} \right)^2 L^7, \quad \frac{1}{8} \left( \frac{P}{EI} \right)^2 L^7 \quad \text{et} \quad \frac{1}{2} \frac{P}{EI} L^3,$$

les valeurs de  $p$  et de  $I_p$  données plus haut; et, un calcul préliminaire ayant montré que le module d'élasticité était voisin de la limite inférieure des valeurs trouvées antérieurement pour l'invar, on a admis  $E = 14,5$  tonnes-force :  $\text{mm}^2$ . Il en résulte :

Facteur de OB.....	0,39658
» BX'.....	38,072
» tang $\varphi$ .....	0,13714

Dans ces conditions, le raccourcissement minimum, obtenu lorsque les supports sont situés à 0,559 de la longueur totale de la règle, est de  $0^{\mu},1$  environ; pour  $\frac{l}{x} = 6a$ , le raccourcissement est de  $0^{\mu},7$ . Cette quantité étant très petite, on peut admettre que le raccourcissement réel aurait possédé une valeur identique, et former les différences entre les longueurs mesurées, dont le point de départ est arbitraire, et la longueur trouvée pour cette distance des supports. C'est ainsi qu'ont été obtenus, après la réduction à la fibre neutre, les nombres de la colonne *Longueurs corrigées*, qui, comparés aux *Longueurs calculées*, conduisent aux nombres de la dernière colonne :

Distance des supports.	$10^3 \text{ tang } \varphi_1.$	$-2 \times 182^{\mu}$ $\text{tang } \varphi_1.$	Longueurs		O.-C.
			corrigées.	calculées.	
0 ...	- 5,868	$+2,1$		$- 41,6$	$\mu$
1 a...	- 5,697	$+2,1$	$- 34,4$	$- 38,8$	$+ 4,4$
2 a...	- 5,183	$+1,9$	$- 27,1$	$- 31,2$	$+ 4,1$
3 a...	- 4,325	$+1,6$	$- 16,7$	$- 20,6$	$+ 3,9$
4 a...	- 3,125	$+1,1$	$- 6,5$	$- 9,7$	$+ 3,2$
5 a...	- 1,583	$+0,6$	$- 0,5$	$- 2,0$	$+ 1,5$
6 a...	+ 0,303	$-0,1$	$- 0,7$	$- 0,7$	$0,0$
7 a...	+ 2,532	$-0,9$	$- 10,9$	$- 9,2$	$- 1,7$
8 a...	+ 5,103	$-1,9$	$- 34,9$	$- 30,3$	$- 4,6$
9 a...	+ 8,017	$-2,9$	$- 74,2$	$- 65,9$	$- 8,3$
10 a...	+ 11,274	$-4,1$	$- 128,6$	$- 116,9$	$- 11,7$

La comparaison entre les longueurs observées et calculées conduit à une constatation inattendue : les raccourcissements pour les faibles distances des supports sont inférieurs aux valeurs calculées, tandis qu'ils sont plus forts pour les grandes distances. Le choix arbitraire du module n'est pour rien dans cette divergence, puisque, s'il en était ainsi, les écarts seraient tous de même sens; c'est la forme de la fonction qui diffère, dans la mesure réelle et dans la valeur calculée. Les écarts sont très supérieurs aux erreurs possibles dans la mesure des longueurs ou dans la position des supports, et la régularité avec laquelle ils se suivent exclut, pour l'une comme pour l'autre, un effet appréciable des erreurs fortuites. Les cotes

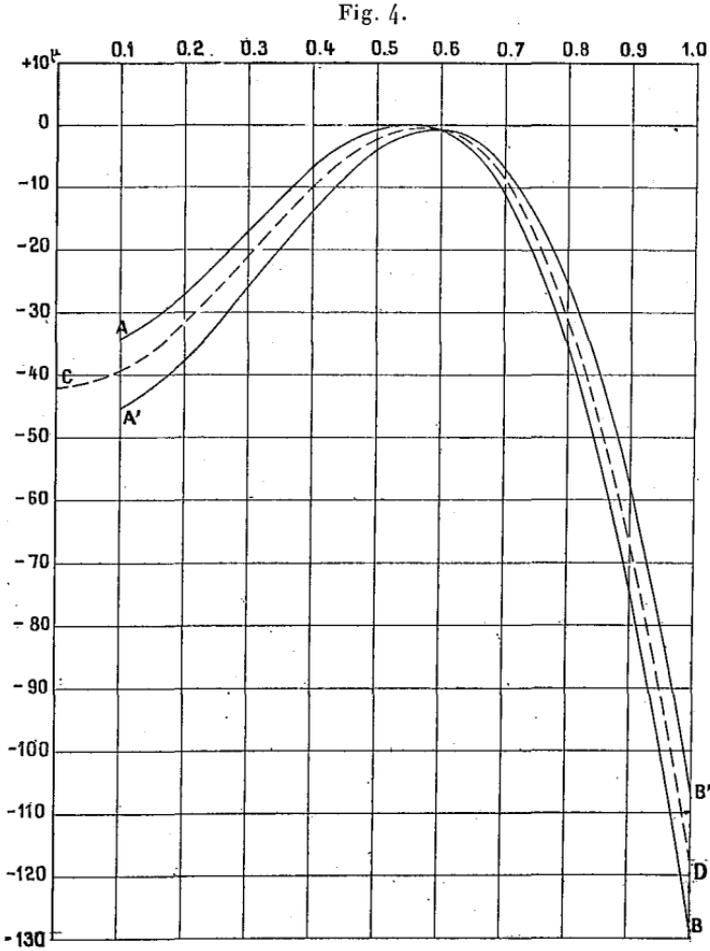
de la section sont aussi beaucoup trop uniformes pour qu'il soit possible de leur attribuer le désaccord constaté entre la théorie et l'expérience.

Mais, si l'on trace la courbe de deux séries de valeurs, on voit qu'elles sont comme décalées dans le sens des abscisses; et cette remarque m'a tout naturellement conduit à rechercher si les écarts trouvés ne pouvaient pas être dus à une faible courbure initiale de la règle, passée jusqu'ici inaperçue. Une recherche aussitôt faite dans cette direction a été fructueuse; des expériences dont je rendrai compte plus loin m'ayant montré qu'en effet la règle couchée était creuse à sa partie supérieure, de 0<sup>mm</sup>,4 environ, quantité correspondant à un rayon de courbure de 5<sup>km</sup>, on devait, en retournant la règle face pour face, trouver, par des mesures de la distance de traits situés dans le plan des fibres neutres, des écarts inverses des précédents.

Les déterminations de la longueur apparente de la règle ont été faites sur deux index fixés contre l'un des jambages latéraux de la règle, et dont la face supérieure affleurerait sensiblement le plan des fibres neutres. Une détermination de leurs positions, exécutée *a posteriori*, a conduit à appliquer, aux résultats bruts, une correction égale au sixième de celle qui avait été faite aux précédentes longueurs. La moyenne des deux séries s'est alors trouvée très voisine des nombres calculés; cependant la concordance a pu être améliorée encore, en donnant au module la valeur 14,42 tonnes : mm<sup>2</sup>. C'est avec cette dernière qu'ont été calculées les longueurs portées dans le Tableau suivant :

Distance des supports.	Longueurs corrigées, fibre neutre		Moyennes.	Longueurs calculées.	O.-C.
	dessus.	dessous.			
1 a...	— 34,4 <sup>μ</sup>	— 45,4 <sup>μ</sup>	— 39,9 <sup>μ</sup>	— 39,3 <sup>μ</sup>	— 0,6 <sup>μ</sup>
2 a...	— 27,1	— 37,8	— 32,4	— 31,6	— 0,8
3 a...	— 16,7	— 25,9	— 21,3	— 20,9	— 0,4
4 a...	— 6,5	— 13,9	— 10,2	— 9,9	— 0,3
5 a...	— 0,5	— 3,7	— 2,1	— 2,0	— 0,1
6 a...	— 0,7	— 0,7	— 0,7	— 0,7	0,0
7 a...	— 10,9	— 6,7	— 8,8	— 8,4	— 0,4
8 a...	— 34,9	— 25,0	— 29,9	— 30,7	+ 0,8
9 a...	— 74,2	— 57,8	— 66,0	— 66,8	+ 0,8
10 a...	— 128,6	— 106,2	— 117,4	— 118,3	+ 0,9

Le diagramme (fig. 4) représente les deux séries de valeurs observées du raccourcissement, AB, A'B', comprenant entre elles les valeurs calculées CD, avec lesquelles se confond pratiquement la moyenne des deux courbes précédentes, comme le montrent les



erreurs résiduelles, très petites, et qui peuvent tenir en grande partie à l'incertitude sur la hauteur des repères. Les déductions de la théorie de l'élasticité sont donc vérifiées avec une grande approximation.

A ces conclusions d'ordre général on peut ajouter une remarque pratique : la nature du maximum, très étalé, de la courbe des longueurs, montre que la position des points de support au voisinage des *points normaux* peut n'être fixée qu'avec une grossière approximation.

IV. — *Mesure de la courbure initiale de la règle.*

Les déterminations de la courbure de la règle ont été faites par un procédé rustique, consistant à déplacer, le long d'une de ses arêtes, un curseur très léger portant une échelle millimétrique, et sur laquelle on lisait la position d'un fil de cocon fortement tendu, passant sur des supports fixés aux extrémités de la règle elle-même. Dans le sens horizontal, les déplacements de l'échelle indiquent sans correction la forme de la règle. Dans le sens vertical, la hauteur mesurée  $h$  du fil, préalablement ramenée au niveau moyen des points extrêmes, résulte de la combinaison des trois quantités :  $y_c$ , ordonnée du fil;  $y_n$ , écart naturel de la règle par rapport à une droite;  $y_p$ , flexion due à l'action de la pesanteur. En retournant la règle face pour face sur les mêmes supports, on établira les deux équations

$$h_1 = y_c - y_n - y_p$$

$$h_2 = y_c + y_n - y_p$$

qui fournissent les valeurs des deux quantités

$$y_n = \frac{h_2 - h_1}{2}$$

et

$$y_c - y_p = \frac{h_1 + h_2}{2}.$$

Les données qui précèdent ne permettent pas de séparer  $y_c$  et  $y_p$ ; on y arrive sans même connaître toutes les grandeurs intervenant dans les formules (5) et (5'), en calculant le rapport des flèches ( $y_p$  maximum), prises par la règle pour divers modes de support, par exemple pour  $\frac{l}{x} = 0,1$  à  $1$ . On obtient ainsi une nouvelle équation qui, combinée avec la dernière ci-dessus, fait connaître séparément la flèche du fil de cocon et celle de la règle.

Les mesures des distances comprises entre les diverses arêtes de la règle et le fil de cocon ont été faites pour tous les dixièmes de la longueur comprise entre les traits extrêmes; mais il suffira de repro-

duire les nombres correspondant au point central, desquels on déduira la flèche proprement dite.

La flèche apparente du Tableau ci-après est la différence des ordonnées du fil et de la règle, rapportée à celle des points extrêmes :

	Surface A	Distance des supports.	Flèche apparente.	Moyenne.	Demi-différ.
			mm	mm	mm
Règle debout	dessus . . . . .	1 a	+ 8,56	+ 8,97	0,41
	dessous . . . . .	1 a	+ 9,38		
	dessus . . . . .	10 a	+13,80	-13,39	0,41
	dessous . . . . .	10 a	-12,98		
Règle couchée	en avant . . . . .	1 a	+ 7,51	+ 7,90	0,39
	en arrière . . . . .	1 a	+ 8,29		
	en avant . . . . .	10 a	-11,75	-11,45	0,30
	en arrière . . . . .	10 a	-11,15		

Les déterminations dans le sens horizontal ont donné en outre :

Pour la règle couchée . . . . .	0 <sup>mm</sup> ,44
— debout . . . . .	0 <sup>mm</sup> ,40

Pour chacune des directions, la concordance des nombres trouvés, de l'ordre du dixième de millimètre, est satisfaisante, eu égard aux difficultés de leur détermination.

On admettra :

Flèche supérieure . . . . .	0 <sup>mm</sup> ,42
Flèche latérale . . . . .	0 <sup>mm</sup> ,37

Il a été dit précédemment que, dans sa forme naturelle, la surface supérieure est creuse ; dans le sens latéral, le creux est situé du côté portant les traits.

Le rapport des flèches, pour  $\frac{l}{x} = 0,1$  et 1, est égal à -0,609 ; on en déduit la valeur -0<sup>mm</sup>,44 pour la flèche du fil de cocon, quantité qui, retranchée des flèches apparentes, fera connaître les flèches vraies. Nous ne nous y arrêtons pas davantage.

V. — Mesures à grande distance de la fibre neutre.

*Observations sur la face inférieure.* — Pour les mesures faites en B, la variation totale se compose de celle qui a été mesurée sur les index latéraux et de la rotation des tranches distantes de 4<sup>m</sup>.

En reprenant les cotes de la section, on voit que la surface portant les traits est, en moyenne, à 19<sup>mm</sup>,877 de la fibre neutre; mais le polissage des extrémités les a légèrement abaissées et amené les traits à une distance moyenne de l'axe égale à 19<sup>mm</sup>,831. Les rotations ont été calculées comme produits du double de ce dernier nombre par les valeurs de la tangente portées dans la première colonne significative, et correspondant à  $E = 14,42$  tonnes : mm<sup>2</sup>, précédemment trouvé.

Une seule indication reste à donner au sujet du Tableau suivant : les valeurs observées, dont le point de départ est arbitraire, ont été ramenées à l'égalité moyenne avec les valeurs calculées.

Distance des supports.	$10^3 \text{ tang } \varphi_1$ .	Longueurs observées.			Rotations calculées.	O.-C.
		Bord supérieur.	Fibres neutres.	Différences.		
1 a.	- 5,729	+181,5 <sup>μ</sup>	- 45,4 <sup>μ</sup>	+226,9 <sup>μ</sup>	+227,2 <sup>μ</sup>	-0,3 <sup>μ</sup>
2 a.	- 5,213	+168,7	- 37,8	+206,5	+206,8	-0,3
3 a.	- 4,350	+145,4	- 25,9	+171,3	+172,5	-0,2
4 a.	- 3,143	+111,6	- 13,9	+125,5	+124,7	+0,8
5 a.	- 1,592	+ 59,6	- 3,7	+ 63,3	+ 63,1	+0,2
6 a.	+ 0,305	- 12,5	- 0,7	- 11,8	- 12,1	+0,3
7 a.	+ 2,546	-108,0	- 6,7	-101,3	-101,0	-0,3
8 a.	+ 5,132	-229,5	- 25,0	-204,5	-203,5	-1,0
9 a.	+ 8,063	-379,1	- 57,8	-321,3	-319,8	-1,5
10 a.	+11,338	-556,4	-106,2	-450,2	-449,7	-0,5

La petitesse des erreurs résiduelles montre que le module trouvé par les mesures faites dans le plan des fibres neutres régit également les résultats actuels. Nous reviendrons sur la répartition des erreurs résiduelles à l'occasion des mesures effectuées sur la face supérieure de la règle couchée.

*Observations sur la face latérale.* — Pour la règle couchée, les observations faites au bord de la nervure C n'ont pas pu être ramenées à des mesures réellement effectuées sur le plan des fibres neutres, qui, dans le sens horizontal, n'est pas à découvert. Si la

règle était rectiligne dans tous les sens, on pourrait appliquer, aux nombres observés sur le plan des fibres neutres, dans la position normale de la règle, le coefficient de réduction  $\left(\frac{I_v}{I_h}\right)^2 = 0,75911$ .

Or la courbure de la règle introduit, dans les déformations observées, une modification dont le calcul ne rendrait compte qu'au prix de grandes difficultés. Mais une circonstance heureuse permet, dans le cas actuel, d'arriver très simplement au but par une approximation suffisante : nous avons vu que la flèche latérale est inférieure à la flèche supérieure; et, dans les limites de l'incertitude de ces quantités, leur rapport est égal au coefficient de réduction ci-dessus; on a donc multiplié par ce nombre les variations obtenues sur la fibre neutre voisine de la surface A, et préalablement régularisées par une courbe continue. On a obtenu ainsi les nombres ci-après :

Distance des supports.	$10^3 \text{ tang } \varphi_2$ .	Longueurs observées.			Rotations	
		Bord supérieur.	Fibre neutre.	Différences.	calculées.	O.—C.
		$\mu$	$\mu$	$\mu$	$\mu$	$\mu$
1 a..	-4,964	+173,9	-26,1	+200,0	+196,6	+3,4
2 a..	-4,516	+160,6	-20,5	+181,1	+178,8	+2,3
3 a..	-3,768	+138,1	-12,8	+150,9	+149,2	+1,7
4 a..	-2,723	+103,2	- 5,1	+108,3	+107,8	+0,5
5 a..	-1,379	+ 54,4	- 0,2	+ 54,6	+ 54,6	0,0
6 a..	+0,264	- 10,8	- 0,5	- 10,3	- 10,5	+0,2
7 a..	+2,206	- 96,0	- 8,1	- 87,9	- 87,4	-0,5
8 a..	+4,446	-203,9	-26,6	-177,3	-176,1	-1,2
9 a..	+6,985	-333,8	-56,0	-277,8	-276,6	-1,2
10 a..	+9,823	-488,0	-97,9	-390,1	-389,0	-1,1

Les différences possèdent, comme pour la position B, une allure systématique, que l'on peut atténuer beaucoup en modifiant un peu le module. La correction faite comme précédemment conduit à la valeur 14,31, au moyen de laquelle ont été calculées les rotations dans le Tableau ci-après. La comparaison avec les longueurs observées, décalées arbitrairement de manière à annuler par compensation la somme des différences, conduit aux nombres inscrits dans la dernière colonne.

Distance des supports.	Différences compensées.	Rotations calculées.	O. — C.
	$\mu$	$\mu$	$\mu$
1 a . . . . .	+199,4	+198,1	+1,3
2 a . . . . .	+180,5	+180,1	+0,4
3 a . . . . .	+150,3	+150,3	0,0
4 a . . . . .	+107,7	+108,6	-0,9
5 a . . . . .	+ 54,0	+ 55,0	-1,0
6 a . . . . .	- 10,9	- 10,6	-0,3
7 a . . . . .	- 88,5	- 88,1	-0,4
8 a . . . . .	-177,9	-177,4	-0,5
9 a . . . . .	-278,4	-277,8	+0,3
10 a . . . . .	-390,8	-390,1	+1,1

Les erreurs résiduelles sont petites, mais leur allure systématique, inverse de celle qui a été constatée dans le cas précédent, suggère un rapprochement qui permet d'en découvrir la cause. La face B de la règle est bombée, tandis que la face C est creuse; l'origine des flexions doit donc être déplacée pour la première vers les extrémités de la règle, pour l'autre, vers le milieu; ce déplacement modifie la courbure de la fonction régissant la relation entre  $\text{tang } \varphi$  et  $\frac{l}{x}$ ; cette dernière particularité des résultats obtenus trouve ainsi une facile explication.

CONCLUSIONS.

Les études dont on vient de rendre compte ont mis au jour quelques faits inattendus.

Les mesures au voisinage du plan des fibres neutres ont montré, tout d'abord, qu'une courbure initiale très faible d'une règle peut modifier considérablement les raccourcissements par rapport aux indications de la théorie, appliquée à une règle primitivement rectiligne; mais les observations faites dans les deux positions inverses de la règle ramènent, par leur moyenne, aussi près qu'on puisse l'espérer, des nombres théoriques.

Les résultats obtenus dans la mesure des déplacements des traits portés par la surface supérieure de la règle, corrigés des changements apparents de longueur de la fibre neutre, ont d'emblée satisfait à la théorie, et conduit, pour le module d'élasticité, à une valeur identique à celle qu'avaient fournie les premières observations. La règle couchée, tout en donnant des résultats très voisins des

nombres calculés, ont concordé de plus près avec ces derniers, lorsqu'on leur a appliqué un coefficient de rigidité un peu plus faible qu'il n'avait été primitivement admis.

Pour la facilité du calcul, l'écart entre la théorie et l'observation a été interprété comme résultant d'une différence des modules; bien que l'invar soit pratiquement isotrope, on ne peut pas affirmer que, dans les limites des nombres trouvés, on ne puisse constater une différence des modules dans deux directions rectangulaires; mais d'autres hypothèses méritent d'être examinées; indépendamment de petites erreurs dans les valeurs admises pour les moments d'inertie et pour la distance des traits pointés à la fibre neutre, on peut se demander si les coefficients de rigidité des barres, admis comme proportionnels aux deux moments d'inertie principaux de la section supposée non déformée, régissent le phénomène dans le cas d'une barre très découpée, comme l'est notre règle géodésique.

La théorie sur laquelle repose le calcul des flexions suppose que, dans une même tranche verticale, tous les filets sont étroitement liés les uns aux autres par la matière interposée. Tel est très approximativement le cas pour notre règle dans sa position normale, dans laquelle la résistance à la flexion est commandée par le moment des jambages verticaux. Mais, lorsque la règle est couchée, les jambages ne sont solidarisés que par la barrette transversale, de telle sorte que les filets éloignés, tels que ceux qui constituent les talons, peuvent prendre un certain degré d'indépendance. En réduisant graduellement la barrette jusqu'à la supprimer, on devra passer d'une façon continue au cas où le moment d'inertie total sera réduit à la somme des moments d'inertie des deux jambages, posés horizontalement. Il n'est donc nullement surprenant que le coefficient de rigidité de la règle couchée soit, par rapport à la règle debout, plus faible que ne l'indique la théorie élémentaire. L'écart étant inférieur à 4 pour mille, on devra même considérer les hypothèses de départ comme remarquablement satisfaites. Cette vérification est intéressante non seulement pour le problème particulier traité dans cette Note, mais pour celui, plus général, de la résistance des poutres métalliques.

---

---

## ANNEXE V.

LES

# RÉCENTS PROGRÈS DU SYSTÈME MÉTRIQUE

(deuxième suite),

Par Ch.-Éd. GUILLAUME.

---

Dans les deux années écoulées, de notables progrès ont pu être enregistrés dans les éléments techniques, comme dans la situation légale du Système métrique. Le contrôle des prototypes représentant les deux unités fondamentales a été augmenté par des déterminations étendues, brièvement résumées ci-après; plusieurs législations ont été revisées, de manière à s'accorder mieux avec le besoin croissant de précision dans les définitions fondamentales; des États restés jusqu'ici plus ou moins étrangers au Système métrique préparent sa prochaine adoption par des lois à l'étude ou déjà promulguées; des Associations ou des Conférences internationales ont décidé d'unifier, par l'emploi exclusif du Système métrique, les calculs dans des branches d'activité où, récemment encore, régnait la diversité; enfin, les idées sur l'ensemble des mesures industrielles ou commerciales se sont suffisamment clarifiées pour que l'on ait pu soumettre à l'attention des législateurs un ensemble de définitions embrassant la totalité des grandeurs dont la mesure permet d'estimer la valeur:

PREMIÈRE PARTIE.

ÉTALONS.

*Mètres.* — Une dernière comparaison de tous les étalons principaux du Bureau ayant été effectuée ainsi qu'il a été dit dans mon dernier Rapport, les règles Type I et Type II ont été repolies et tracées avec toute la perfection actuellement réalisable. Leur équation a été ensuite déterminée par des comparaisons en série fermée avec les deux étalons n° 26 et Type III, déterminés directement en fonction du Prototype international.

Le Tableau ci-après résume ce travail :

Règles comparées.	Différences		δ.
	observées.	calculées.	
T <sub>1</sub> —T <sub>2</sub> . . . . .	— 10,22	— 10,23	+ 0,01
T <sub>1</sub> — [26] . . . . .	— 6,79	— 6,70	— 0,09
T <sub>1</sub> —T <sub>3</sub> . . . . .	— 7,40	— 7,48	+ 0,08
T <sub>2</sub> — [26] . . . . .	+ 3,60	+ 3,62	— 0,02
T <sub>2</sub> —T <sub>3</sub> . . . . .	+ 2,69	+ 2,74	— 0,05
T <sub>3</sub> — [26] . . . . .	+ 0,80	+ 0,78	+ 0,02

En ajoutant au Tableau les équations

[26]	1 <sup>m</sup> + 0,8	+ 0,04
[T <sub>3</sub> ]	1 <sup>m</sup> + 1,5	— 0,04

on trouve

$$T_1 = 1^m - 5,94$$

$$T_2 = 1^m + 4,28$$

Il est intéressant de noter que les erreurs résiduelles correspondant aux valeurs absolues des règles n° 26 et T<sub>3</sub> sont très petites; et l'on en conclut que l'équation relative de ces étalons s'est parfaitement conservée. Une semblable constatation était résultée déjà des comparaisons, faites en 1905, de la Règle n° 27, du *Bureau of Standards*, avec nos deux règles principales (1).

(1) *Procès-verbaux*, session de 1905, p. 134.

Les règles Type I et Type II, d'une valeur métrologique égale à celle des étalons principaux du Bureau, pourront servir, l'une à constituer un témoin supplémentaire du Prototype international (1), l'autre comme troisième étalon principal à l'usage du Bureau.

*Kilogrammes.* — La période bisannuelle écoulée a vu s'achever la première série de comparaisons des kilogrammes-prototypes; pour ce travail considérable et de longue haleine, les kilogrammes ont été répartis en divers groupes, dans chacun desquels sont intervenus un certain nombre d'étalons du Bureau ou d'étalons témoins, constituant, dans leur ensemble, une garantie parfaite de la valeur du Kilogramme international.

Parmi les kilogrammes renvoyés au Bureau pour cette première vérification, plusieurs n'avaient que très peu servi; d'autres avaient été employés à des comparaisons nombreuses, comme les kilogrammes n° 22 (Allemagne) et n° 28 (Belgique) (2). D'autres enfin, au nombre de trois, avaient subi des détériorations visibles, dues à des accidents constatés.

Les résultats des comparaisons, faites en deux groupes principaux divisés en plusieurs sous-groupes, devront être soumis encore à une discussion approfondie, afin de laisser le moins d'arbitraire possible à la liaison établie entre les valeurs anciennes et nouvelles des kilogrammes. Tout ce qu'on peut faire pour le moment est de donner les valeurs qui résultent directement des comparaisons, échelonnées sur une durée totale de plus de dix années, et que relie, d'un groupe à l'autre, ceux des kilogrammes dont la permanence a semblé le mieux assurée. Seuls, les quatre kilogrammes n°s 7, 9, 29 et 31 ont participé à toutes les séries. Le Tableau ci-contre résume l'ensemble du travail; les différences inscrites dans la quatrième colonne sont prises, pour les quatre kilogrammes communs aux deux groupes, entre l'équation ancienne et la dernière valeur.

Les trois kilogrammes visiblement détériorés ont été mis à la suite du Tableau.

---

(1) Le Comité international a désigné dans ce but la règle Type I.

(2) *Les récents Progrès du Système métrique*, Rapport présenté à la Quatrième Conférence générale, etc., p. 11.

Numéro du kilo- gramme.	Attribution.	Équation ancienne.	Équation nouvelle.		Différence.
			Premier groupe.	Second groupe.	
1	Témoïn . . . . .	kg mg 1+0,002	kg mg 1+0,003		mg +0,001
2	Roumanie. . . . .	—0,953	—0,966		—0,013
3	Espagne. . . . .	+0,021		kg mg 1+0,024	+0,003
5	Italie. . . . .	+0,018	+0,024		+0,006
6	Japon. . . . .	+0,169		+0,149	—0,020
7	Disponible. . . . .	—0,530	—0,504	—0,508	+0,022
9	Bureau. . . . .	+0,282	+0,278	+0,277	—0,005
13	France. . . . .	—0,154		—0,169	—0,015
14	Autriche. . . . .	+0,247		+0,234	—0,013
21	Mexique. . . . .	+0,063	+0,061		—0,002
22	Allemagne. . . . .	+0,053	+0,002		—0,051
24	Espagne. . . . .	—0,191		—0,187	+0,004
28	Belgique. . . . .	+0,210	+0,183		—0,027
29	Disponible. . . . .	—0,949	—0,946	—0,921	+0,028
31	Bureau. . . . .	+0,162	+0,137	+0,141	—0,021
32	Disponible. . . . .	+0,070	+0,071		+0,001
35	France. . . . .	+0,191		+0,183	—0,008
36	Norvège. . . . .	+0,157	+0,156		—0,001
37	Belgique. . . . .	+0,244	+0,257		+0,013
38	Suisse. . . . .	+0,183	+0,190		+0,007
40	Suède. . . . .	—0,037	—0,044		—0,007
41	Disponible. . . . .	+0,260	+0,257		—0,003
C	Bureau. . . . .		+0,154	+0,167	+0,013
S	Bureau. . . . .		+0,331	+0,328	—0,003
11	Serbie. . . . .	+0,008	—1,109		—1,117
16	Hongrie. . . . .	+0,056	—0,019		—0,075
27	Danemark. . . . .	+0,145	+0,107		—0,038

L'inspection des nombres de la dernière colonne montre que la valeur de la grande majorité des kilogrammes s'est remarquablement conservée. Deux d'entre eux, restés disponibles, semblent il est vrai avoir subi une augmentation mesurable, qu'on pourrait être tenté d'interpréter par une diminution de tous les autres. Mais celle-ci est peu probable; il faudrait admettre en effet que tous

ces kilogrammes, parmi lesquels s'en trouvent deux autres restés disponibles, en même temps qu'un témoin du Prototype international, eussent subi des diminutions à peu près identiques. On remarquera, d'ailleurs, que les écarts constatés sont extrêmement faibles et dépassent très peu la somme des erreurs possibles des observations dans les déterminations anciennes et nouvelles. L'unité de masse semble donc s'être conservée, dans sa représentation matérielle, à moins de *un cent-millionième près de sa valeur*; et, par la revision récente des équations, l'uniformité de la représentation de cette unité dans les États adhérents à la Convention est garantie, pour l'époque actuelle, à très peu près dans les mêmes limites.

L'intérêt d'une nouvelle détermination du volume des kilogrammes avait été signalé par M. J. Violle, Délégué de la France à la Quatrième Conférence générale. Elle a été faite sur les trois derniers kilogrammes avant leur nouvelle détermination. Les pesées hydros-tatiques ont été réduites en utilisant les mêmes tables que pour les déterminations anciennes, afin de permettre les comparaisons avec les valeurs primitives, puis avec les tables calculées en partant d'éléments plus récents. Le Tableau suivant met en regard ces trois séries de valeurs :

Numéros des kilogrammes.	Volume. Première détermination.	Volume. Deuxième détermination.	
		Tables anciennes.	Tables nouvelles.
11.....	ml 46,4111	ml 46,4108	ml 46,4110
16.....	46,4080	46,4099	46,4102
27.....	46,4426	46,4428	46,4432
Moy...	46,4206	46,4218	46,4215

Pour deux des kilogrammes, les écarts sont très faibles et de signes contraires; pour le troisième, la mesure donne une augmentation apparente sensible de volume, fort improbable d'ailleurs. Or la détermination de ce volume avait été l'une des moins bonnes de la première série : on peut donc considérer la différence comme douteuse et conclure, de la moyenne des deux autres, à la parfaite conservation du volume des kilogrammes étalons.

## DEUXIÈME PARTIE.

### LÉGISLATIONS.

De notables progrès ont été récemment accomplis dans les législations, soit que la notion de mesure ait été étendue dans sa définition légale, soit que le Système métrique ait été adopté partiellement ou en totalité dans des pays qui lui étaient demeurés étrangers, ou par des industries et des commerces où des unités non métriques étaient restées en usage ; tel est, notamment, le cas du négoce des pierres précieuses, dans lequel l'adoption du carat métrique apporte l'uniformité qui lui avait fait défaut jusqu'ici.

Nous examinerons d'abord trois législations revisées récemment.

#### Roumanie.

La loi du 2/15 mars 1906 a été considérablement étendue, dans une loi publiée au *Moniteur officiel* le 1/14 mai 1910. Les définitions fondamentales antérieurement données étaient irréprochables ; elles ont été reproduites sans modifications dans la loi nouvelle, qui contient en outre une nomenclature complète des unités métriques, la liste des valeurs autorisées des étalons de diverses espèces, avec les prescriptions générales sur l'organisation de la vérification. Un règlement en 308 articles, publié à la même date, élabore plus complètement ces principes.

La nouvelle loi roumaine est l'œuvre de M. J.-St Murat, autrefois Attaché au Bureau international, et Délégué à la Quatrième Conférence générale.

#### Bulgarie.

Le Système métrique a été introduit en Bulgarie par une loi du 8/20 décembre 1888, qui prévoyait son emploi obligatoire à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1892. Dans cette loi, promulguée avant la réunion de la Première Conférence générale des Poids et Mesures, les unités fondamentales étaient définies comme dans la loi française qui avait institué le Mètre et le Kilogramme. Une loi publiée le 27 mars-

10 avril 1910 contient des dispositions nouvelles et fort intéressantes. Pour les définitions fondamentales, le Gouvernement bulgare avait demandé, par l'intermédiaire de M. Kovatchef, professeur à l'École de guerre de Sofia, l'avis du Bureau, auquel il a conformé la rédaction des articles relatifs à la définition des unités.

Le projet précédemment élaboré, en vue de la revision de la loi dans la République Argentine (1), put être communiqué sans grandes modifications au Gouvernement bulgare. L'ensemble de ce projet, avec l'exposé des motifs qui l'accompagne, est annexé à ce Rapport (2); on pourra donc se borner à analyser sommairement les principaux articles de la loi.

Les dispositions générales prescrivent, dans les deux premiers articles, l'emploi obligatoire du Système métrique, tel qu'il est exposé dans les articles ultérieurs. Seuls font exception les actes commerciaux avec les pays où les unités métriques ne sont pas encore obligatoirement en usage, ou les contrats conclus avant l'introduction du Système métrique en Bulgarie.

La loi permet, en outre, pour des usages industriels spéciaux, l'emploi d'instruments non métriques; toutefois, cet emploi est subordonné à une autorisation toujours révocable.

Les articles 3 et 4 définissent les unités fondamentales, conformément aux décisions des Conférences générales; ils prévoient l'acquisition de prototypes nationaux, munis de certificats délivrés par le Bureau international.

Les articles 5, 6 et 7 contiennent une nomenclature complète des unités dérivées du Mètre et du Kilogramme; l'unité de capacité est ramenée à ce dernier.

Les articles 8 à 12 définissent les unités de la densité et de la masse spécifique, de la force, de la pression, du travail et de la puissance. Dans chacun des articles consacrés aux grandeurs dynamiques, on a mis en parallèle les unités des mécaniciens, utilisant pour leur définition l'accélération de la pesanteur, et celles des physiciens partant d'une valeur de l'accélération exprimée par un

---

(1) *Les récents Progrès*, etc. (*Procès-verbaux*, 1909, p. 130.)

(2) Postérieurement à la communication faite au Gouvernement bulgare, le projet a été complété, surtout en ce qui concerne les unités électriques. Sous cette forme, il a été présenté au Gouvernement serbe par S. Exc. M. Vesnitch, Ministre plénipotentiaire, Délégué à la Quatrième Conférence générale des Poids et Mesures. (Voir également : *Portugal*, p. 201 ci-après.)

nombre simple. On trouve ainsi, à côté du kilogramme-force, de l'atmosphère industrielle (kilogramme-force par centimètre carré), du kilogrammètre et du poncelet, la mégadyne, la mégabarye, le joule et le watt.

À cet égard, la loi bulgare réalise donc un progrès sur la loi hongroise du 10 janvier 1907, restée jusqu'à ces derniers temps le plus parfait modèle des lois définissant les unités dynamiques.

Les derniers articles principaux se rapportent à l'échelle de la température et aux unités électriques fondamentales : l'ohm, l'ampère et le volt. Le watt, déjà défini en partant des unités de masse, de longueur et de temps, est rappelé, à la suite des unités électriques, comme étant le produit d'un ampère par un volt.

Les chapitres suivants de la loi, qui comprend 74 articles, instituent la vérification. En même temps, la loi prévoit, pour le 1<sup>er</sup> janvier 1911, l'accession à la Convention du Mètre, devenue récemment effective. Par cette accession, le nombre des Etats adhérents se trouve porté à vingt-cinq (1).

### Républiques de l'Amérique centrale.

Dans quatre des Républiques de l'Amérique centrale : Costa-Rica, Guatémala, Nicaragua et San-Salvador, l'emploi du Système métrique a été, à des époques diverses, prescrit pour plusieurs usages, et notamment pour l'acquittement des droits douaniers; le Honduras était seul jusqu'ici demeuré étranger à la réforme métrique.

Un grand progrès vient d'être réalisé. Une Convention préparée par une Conférence réunie le 19 janvier 1909 à Tegucigalpa, et signée le 3 février 1910 entre les délégués des cinq Républiques, a lié solidairement celles-ci pour l'emploi obligatoire du Système métrique à partir d'une date commune, ultérieurement fixée au 1<sup>er</sup> janvier 1912. La Convention prévoit aussi que le Système métrique sera seul enseigné dans les écoles; des étalons du Mètre et du Kilogramme, issus du Bureau international, seront déposés dans chacune des cinq capitales.

La Convention de Tegucigalpa constitue ainsi un épisode extrêmement important de l'expansion du Système métrique.

---

(1) Allemagne, République Argentine, Autriche, Belgique, Bulgarie, Canada, Chili, Danemark, Espagne, États-Unis d'Amérique, France et Algérie, Grande-Bretagne et Irlande, Hongrie, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pérou, Portugal, Roumanie, Russie, Serbie, Suède, Suisse, Uruguay.

### Portugal.

Un décret royal du 13 décembre 1852 a introduit le Système métrique au Portugal, en fixant à deux années le délai de son entrée en vigueur. Depuis cette époque, une série de décrets et d'ordonnances l'imposèrent dans les divers services de l'État et dans le commerce. Enfin, une loi du 16 mai 1867 le rendit exclusif à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1870, date prorogée ultérieurement jusqu'au 1<sup>er</sup> janvier 1872 pour les mesures de capacité, à l'exception des villes de Lisbonne et d'Oporto, où la loi devait être intégralement appliquée dès le 1<sup>er</sup> janvier 1871.

Un décret du Ministre de la Marine et d'Outremer, publié dans le *Diario do Governo* le 25 septembre 1905, a étendu cette obligation aux Colonies de la Guinée, d'Angola et de Mozambique.

Dans le décret du 13 décembre 1852, les unités métriques étaient définies comme dans la loi fondamentale du 18 germinal An III. Cette disposition vient d'être révisée, à la suite de la présentation au Gouvernement portugais, par les soins de M. J.-A. Ferreira da Silva, Délégué à la Conférence des méthodes d'analyses des produits alimentaires, d'un Rapport sur les législations analogue à celui qui avait été communiqué au Gouvernement bulgare (p. 198). Un décret promulgué le 19 avril 1911 et publié au *Diario do Governo* du 24 avril dispose en effet :

« . . . Le Gouvernement provisoire de la République portugaise fait savoir que, au nom de la République, il décrète pour avoir force de loi ce qui suit :

» ARTICLE PREMIER. — Les étalons prototypes du Système métrique décimal sont le Mètre international et le Kilogramme international, approuvés par la Conférence générale des Poids et Mesures réunie à Paris en 1889, qui sont déposés au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, et dont les copies n° 10 (1), déposées au Ministère des Travaux publics, du Commerce et de l'Industrie, sont les étalons légaux au Portugal et dans ses Colonies.

» ARTICLE 2. — Un Tableau des poids et mesures légaux sera fixé par le Gouvernement, en harmonie avec l'article précédent.

---

(1) Les étalons du mètre et du kilogramme échus par tirage au sort au Portugal portent, par hasard, le même numéro.

» ARTICLE 3. — Sont abrogés les articles 1 et 2 du décret du 13 décembre 1852, ainsi que toutes les dispositions contraires au présent décret. »

Le Tableau nommé à l'article 2<sup>me</sup> ci-dessus a été publié au *Diario* du 1<sup>er</sup> mai 1911. Il contient la nomenclature complète des unités métriques de longueur, de superficie, de volume, de masse et de capacité, ainsi que la définition de l'échelle normale des températures et de l'unité de densité. Le carat métrique (quilate metrico) est aussi nommé dans la loi.

### Le Carat métrique.

Depuis la dernière session du Comité, le carat métrique a été légalisé dans plusieurs États; dans d'autres, la législation est en voie de préparation ou d'adoption. Des renseignements positifs nous sont parvenus au sujet du statut légal du carat métrique dans les pays mentionnés ci-après.

*Allemagne.* — Dans l'Empire allemand, la question du carat a été résolue très simplement, sans aucune législation nouvelle. La loi du 17 mai 1856 a supprimé, par son article 5<sup>me</sup>, le carat usuel, que les lois du 17 août 1868 et du 30 mai 1908 ont ignoré. Or, tandis que, dans la plupart des pays, la loi interdit non seulement l'usage d'unités non métriques, mais encore de toute nomenclature étrangère à celle du Système, la loi de l'Empire d'Allemagne est muette à l'égard de cette dernière. Il en résulte que les intéressés peuvent, sans entrer en conflit avec la loi, donner le nom de carat à leur unité usuelle, à la seule condition que cette dernière soit représentée par un étalon figurant dans le Tableau des étalons de masse admis à la vérification.

Conformément à ces stipulations de la loi, officiellement communiquées par le Secrétaire d'État de l'Intérieur (1) à la Fédération des joailliers et bijoutiers allemands, cette dernière a pris la résolution d'adopter le carat métrique (2).

*Belgique.* — Le projet de loi, signé par le Roi et les Ministres compétents, a été soumis aux Chambres au commencement de juillet 1909. La loi n'a pas encore été promulguée.

---

(1) Lettre du 6 mars 1911.

(2) Lettre du 29 mars 1911 au Président du Comité international.

*Bulgarie.* — Le carat est inscrit dans la loi résumée ci-dessus.

*Danemark.* — L'article 1<sup>er</sup> d'une loi votée le 1<sup>er</sup> avril 1910, et entrée en vigueur le même jour, est conçu en ces termes :

« Dans l'application du Système métrique au commerce des pierres précieuses, des perles fines, etc., on emploiera désormais le carat métrique, équivalent à 200 milligrammes. »

*Espagne.* — Un Ordre Royal du 11 mars 1908 a prescrit l'emploi du carat métrique.

*France.* — La loi du 22 juin 1909 comprend un unique article :

« Dans les transactions relatives aux diamants, perles fines et pierres précieuses, la dénomination de « carat métrique » pourra, par dérogation à l'article 5 de la loi du 4 juillet 1837, être donnée au double décigramme.

» L'emploi du mot « carat » pour désigner tout autre poids demeure prohibé. »

Ainsi la nouvelle loi interdit formellement l'emploi de l'ancien carat, mais tolère le carat métrique, considéré comme une dérogation autorisée à la loi fondamentale sur l'application du Système métrique. L'interdiction relative à l'ancien carat est devenue effective à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1911.

La loi a été élaborée dans deux décrets, du 7 juillet et du 13 décembre 1910. Le premier de ces décrets stipule que « la forme des poids carats est celle d'un tronc de pyramide quadrangulaire ou d'un cylindre surmonté d'un bouton. Toutefois, les poids carats inférieurs à 1<sup>g</sup> sont constitués par des lames de métal coupées en forme de carrés. Les dimensions des poids cylindriques doivent être différentes de celles fixées par l'annexe n° 5 de l'ordonnance du 16 juin 1839.

» Les dénominations sont inscrites en creux et en caractères lisibles : celles en grammes, sur la face inférieure; celles en carats métriques, suivies de l'abréviation C-M., sur la face supérieure. »

Le même décret énumère les poids carats formant la série complète minimum que doivent posséder les négociants intéressés; cette série est conforme à la série métrique, entre 2<sup>mg</sup> et 100<sup>g</sup>.

*Hollande.* — La loi définissant le carat de 2<sup>ds</sup> a été présentée à la Chambre seconde le 9 juin 1910. L'exposé des motifs renvoie au

vœu exprimé par le Comité international des Poids et Mesures dans sa session de 1905 et à la décision de la Quatrième Conférence générale.

*Italie.* — Le Parlement a légiféré en principe sur le carat métrique (7 juillet 1910); un Décret Royal fixera la date de l'entrée en vigueur après que la Commission nationale des Poids et Mesures aura été consultée.

*Japon.* — Une ordonnance du 11 novembre 1909 spécifie que : « Lorsque les quantités des pierres précieuses sont exprimées en carats, le mot *carat* doit désigner la masse de 200 milligrammes. »

*Mexique.* — Le Gouvernement, considérant que la dénomination « carat métrique » constitue simplement une exception à la loi fondamentale, ne voit aucun inconvénient à instituer la tolérance autorisant son emploi; il considère cette tolérance comme devant être passagère.

*Norvège.* — La loi autorisant le carat métrique est du 27 mai 1910; le décret d'exécution a été promulgué le 17 juin de la même année.

Voici le texte de la loi :

« Le nom de *Carat métrique* désigne une unité métrique spéciale de masse, d'une valeur de 200 milligrammes, exclusivement destinée à l'estimation du prix et à la vente ou l'achat des perles fines, des diamants et autres pierres précieuses.

» Des multiples et sous-multiples décimaux du carat métrique seront autorisés autant qu'ils seront nécessaires.

» Le mot « carat » sera, dans l'avenir, exclusivement réservé pour désigner la masse ci-dessus définie. »

Le décret établit la série (semblable à la série métrique) des poids multiples et sous-multiples du carat. Il spécifie en outre que les poids carats auront la forme d'un triangle équilatéral dont un côté est relevé.

*Portugal.* — Le carat est, comme nous l'avons vu (p. 201), inscrit dans le Tableau annexé au décret du 19 avril 1911.

*Roumanie.* — Un Décret Royal du 3 mars 1910 prescrit, à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1911, l'emploi du carat métrique de 200 milligrammes;

la vérification des poids carats sera effectuée conformément aux dispositions générales inscrites dans la loi sur les Poids et Mesures.

*Russie.* — La réforme du carat est inscrite dans la loi générale en cours de revision.

*Serbie.* — Comme pour la Russie.

*Suède.* — La loi instituant le carat métrique a été promulguée le 10 juin 1910; l'obligation était prévue pour le 1<sup>er</sup> janvier 1911.

*Suisse.* — Le carat de 200 milligrammes est inscrit dans la loi sur les Poids et Mesures, promulguée le 24 juin 1909.

En résumé, le carat métrique, adopté ou en voie d'adoption dans dix-sept pays, est prescrit par des lois dont le texte diffère légèrement, suivant le sens attribué à la réforme; le plus généralement, la prohibition implicitement contenue dans la loi sur les Poids et Mesures au sujet de l'emploi d'une unité non métrique, est nettement affirmée en ce qui concerne le carat usuel; mais l'usage du mot « carat » pour désigner une masse de 2 décigrammes est admis comme une tolérance nécessitée par un état de fait, et justifiée par les conditions spéciales du commerce des gemmes.

L'emploi pur et simple du Système métrique n'est donc nullement exclu.

Dans les pays où aucune législation n'a fixé la valeur du carat, la tolérance dont a bénéficié jusqu'ici l'unité mal définie à laquelle était rapportée la masse des pierres précieuses doit s'appliquer *a fortiori* à l'unité strictement fixée par son rapport simple avec le gramme. On peut donc dire que la réforme est, en fait, plus avancée que ne l'indique le statut légal du carat.

En résumé, dans les pays où la loi est en vigueur, les carats non métriques sont interdits; dans les autres, le carat métrique est autorisé *ipso facto*; rien ne s'oppose donc à ce qu'il soit, dès maintenant, d'un usage tout à fait général.

---

## TROISIÈME PARTIE.

### PROGRÈS GÉNÉRAUX.

#### Conférences internationales. Action des Associations.

Des décisions concernant l'adoption des unités métriques dans un domaine particulier de l'activité scientifique, industrielle ou commerciale, sont fréquemment prises par des groupements nationaux ou internationaux, d'un caractère officiel ou privé. Nous ne saurions mentionner dans ce Rapport toutes celles qui ont pu être enregistrées dans les deux années écoulées; mais il en est deux qui présentent une importance exceptionnelle, et sur lesquelles il convient de s'arrêter.

**Conférence internationale pour l'étude des moyens propres à réaliser l'unification des méthodes d'analyses des produits alimentaires.** — Cette Conférence, convoquée par les soins du Gouvernement français, s'est réunie à Paris du 27 juin au 1<sup>er</sup> juillet 1910, sous la présidence du D<sup>r</sup> F. Bordas. Dix-sept États y étaient représentés (1).

La Conférence s'est occupée essentiellement d'établir des normes auxquelles les analyses devraient être rapportées, et, avant tout, d'adopter un système d'unités en fonction desquelles toutes les mesures devraient être faites (2). Nous nous limiterons à celles des propositions finalement admises qui ont trait à l'emploi des unités métriques.

#### *Notations.*

« 1° Les notations doivent être celles qui ont été adoptées par le Comité international des Poids et Mesures.

---

(1) République Argentine, Belgique, Bulgarie, Chine, Danemark, France, Grande-Bretagne et Irlande, Grèce, Hollande, Hongrie, Italie, Mexique, Norvège, Portugal, Suède, Suisse, Uruguay. Le délégué des États-Unis, empêché de prendre part à la Conférence, avait envoyé des propositions conformes à celles qui ont été finalement adoptées, en ce qui concerne l'application des unités métriques aux analyses des produits alimentaires.

(2) En vue de l'établissement de ce système, l'auteur de ce Rapport avait été invité à faire connaître à la Conférence les décisions du Comité international et des Conférences générales.

*Masse* (quantité de matière).

» 2° Conformément à la définition donnée par les Conférences générales des Poids et Mesures, et insérée dans les lois des pays qui ont adhéré à la Convention du Mètre, l'unité pratique, pour les pesées, est le gramme, millième partie du kilogramme international.

» 3° Pour les produits dont on évalue la quantité par des pesées, on doit indiquer les résultats de l'analyse... en grammes ou milligrammes pour 100<sup>e</sup> du produit...

*Volume.*

» 4° L'unité de volume est le litre, volume du kilogramme d'eau pure dans les conditions définies par les Conférences générales des Poids et Mesures; l'unité pratique des mesures de volume est le centimètre cube, sensiblement égal à la millième partie du litre.

» 6° Pour les produits qui se mesurent en volume, on doit indiquer les résultats de l'analyse donnant la composition, en grammes ou en milligrammes par litre du produit.

*Température.*

» 7° Les températures doivent être rapportées à l'échelle normale adoptée par les Conférences générales des Poids et Mesures, c'est-à-dire à l'échelle centigrade du thermomètre à hydrogène ayant pour points fixes : la température de la glace fondante (0°) et celle de la vapeur d'eau distillée en ébullition (100°) sous la pression atmosphérique normale.

*Pression.*

» 9° Les pressions doivent être indiquées en millimètres de mercure à 0° et dans les conditions normales de la pesanteur. »

Les décisions qui précèdent sont pratiquement conformes aux propositions faites par la Délégation française; les Délégations du Danemark, des États-Unis et du Portugal avaient présenté également des projets en recommandant sans aucune restriction l'usage des unités métriques. La Délégation britannique, tout en proposant, de son côté, le choix du gramme, du litre et du centimètre cube,

avait ajouté, aux propositions correspondant aux décisions 3° et 6°, cette extension : « mais, s'il est nécessaire de se servir d'une autre méthode pour exprimer les résultats de l'analyse, cette méthode doit être indiquée précisément ».

L'une des propositions de la Délégation britannique était conçue en ces termes : « La teneur en alcool des liquides alcooliques est indiquée en grammes d'alcool par litre... mais elle peut être également indiquée en volumes d'alcool absolu contenus dans 100 volumes du mélange. » A cette suggestion, la Délégation britannique ajoute la remarque suivante : « En Grande-Bretagne, l'expression *proof spirit* est reconnue par des lois, et, dans plusieurs circonstances, on ne peut pas éviter l'emploi de cette expression. *Proof spirit* indique la présence de 49<sup>g</sup>,277 d'alcool pur pour 100<sup>g</sup> du mélange, ou 59,029 pour 100 d'alcool pur par volume à 50°F. (10°C.). Quand on se sert de l'expression *percentage of proof spirit*, on veut dire *percentage* par volume. »

Le *proof spirit* était originairement défini par un Act of Parliament (55 Geo III, 140) comme étant : « l'alcool qui, à une température de 51°F., possède les  $\frac{4}{3}$  du poids d'un égal volume d'eau ». La température de l'eau n'est pas fixée, mais on sait, d'après d'autres sources, qu'elle est la même que pour l'alcool (1).

En conséquence de ce qui précède, la Conférence avait admis, aux décisions 3° et 6°, l'extension suivante : « Simultanément, les résultats peuvent être donnés d'une façon différente. »

On peut résumer, en ce qui concerne les applications du Système métrique, les décisions de la Conférence en disant que, pour l'adoption des unités métriques fondamentales, l'unanimité a été acquise; mais que, pour tenir compte des habitudes des chimistes britanniques, on a admis la possibilité de joindre, aux indications des résultats rapportés aux unités métriques et à l'échelle centésimale, les données exprimées dans les unités nationales encore existantes.

La Conférence a donc consacré, au principal, une unification internationale, par l'adoption des unités du Système métrique.

**Association internationale du Froid.** — Cette Association, con-

---

(1) Note historique de M. J. Connah, annexée aux *Comptes rendus de la Conférence.*

stituée à la suite du premier Congrès international du Froid, réuni à Paris en 1908, a institué à son tour une Commission des Unités qui, dans une séance tenue à Paris le 9 juin 1909, a pris à l'unanimité des membres présents la résolution « d'adopter un système de mesures absolues fondé sur le Système métrique, et dans lequel les principes du Système C. G. S. soient appliqués à des unités de grandeur convenable pour les industries du froid ».

Le sens de cette résolution, expliqué par les débats au sein de la Commission, est le suivant : Tandis que les physiciens emploient universellement un système de mesures fondé sur les unités de la longueur, de la masse et du temps, les mécaniciens envisagent l'unité de la force comme primordiale, et en déduisent, pour les calculs de la dynamique, l'unité de la masse. La décision de la Commission affirme la supériorité du premier système, conforme à la définition de l'unité de masse adoptée par la première Conférence générale des Poids et Mesures, et insérée dans la plupart des législations. Mais, en même temps, elle répond à une objection faite par les praticiens au Système C. G. S. pur, qui conduit, pour l'ensemble des grandeurs à mesurer dans la pratique industrielle, à des unités trop petites, et par conséquent peu maniables.

La Sous-Commission (1) chargée d'élaborer un système de mesures, conformément à la décision de la Commission, a choisi d'emblée, pour les trois unités de la longueur, de la masse et du temps, le Mètre, le Kilogramme et la Seconde. Les unités de l'accélération, de la force, de la pression, du travail et de la puissance s'en déduisent immédiatement ; elles possèdent, à l'exception de l'unité de pression, une valeur dont l'ordre de grandeur correspond aux besoins de l'industrie, puisque l'unité de force ( $m.kg.sec^{-2}$ ), pour laquelle le nom de « newton » a été proposé, est très peu supérieure au dixième du kilogramme-force ; les unités du travail et de la puissance sont, de leur côté, sans l'intervention d'aucun facteur numérique, le joule ( $m^2.kg.sec^{-2}$ ) et le watt ( $m^2.kg.sec^{-3}$ ).

Cette appropriation des principes du Système C. G. S. à des unités d'un ordre de grandeur plus conforme aux besoins de l'industrie semble être de nature à étendre, d'abord aux industries frigorifiques, puis aux industries mécaniques en général, des principes

---

(1) MM. Barrier (France), Sir J. Dewar (Royaume-Uni), Ch.-Éd. Guillaume (Suisse), H. Kamerlingh Onnes (Hollande), Mollier (Allemagne), Samuel-W. Stratton (États-Unis). *Rapporteur* : Ch.-Éd. Guillaume.

qui, en créant pour les industries électriques une langue simple et rationnelle, ont rendu possible leur prodigieux développement.

### Perspectives d'adoption du Système métrique.

#### Malte.

Une loi portant l'emploi obligatoire du Système métrique a été votée par le Parlement de Malte dans sa session de décembre dernier ; cette loi a été transmise pour son approbation au Gouvernement métropolitain ; la date d'application de la loi serait le 1<sup>er</sup> janvier 1912.

#### Colonies australiennes.

Le 4 août 1910, M. G.-B. Edwards porta devant la Chambre des Représentants du Commonwealth australien une proposition formulée dans les termes suivants : « Comme l'adoption d'un Système décimal de monnaies, poids et mesures, constituerait une grande réforme nationale, abrégeant le travail de calcul dans les opérations de la Science, de l'Industrie et du Commerce, ainsi que dans les transactions du Gouvernement, et assurant la possibilité de donner aux enfants une instruction plus utile pour une moindre dépense, le Gouvernement est invité à rechercher l'approbation de la prochaine Conférence Impériale pour réaliser la réforme donnant à tout l'Empire britannique une monnaie, des mesures et des poids décimaux ; et, si un tel résultat ne peut être obtenu, il est désirable que le Commonwealth australien entreprenne une semblable réforme, en invitant le Dominion de la Nouvelle-Zélande à y coopérer. »

Après un exposé suivi d'une abondante discussion sur les avantages du Système métrique et sa situation dans le monde, en même temps que des tentatives faites pour assurer son emploi obligatoire dans l'Empire britannique, la proposition fut adoptée par 35 voix contre 2, l'un des votes négatifs ne s'étant, au surplus, séparé de la majorité que pour une question de détail.

La forme de la résolution est expliquée par une stipulation de la charte de constitution du Commonwealth australien, 1900 (63 et 64 Victoria, Chap. XII), qui donne pouvoir au Parlement australien pour légiférer sur toutes les questions concernant la monnaie, les mesures et les poids.

En ce qui concerne la Nouvelle-Zélande, la loi n° 5 de l'année 1903 prévoit, à l'article 25<sup>ème</sup>, que « le Gouverneur est autorisé, à

toute époque non antérieure au 1<sup>er</sup> janvier 1906, à déclarer par proclamation le Système métrique obligatoire dans la Nouvelle-Zélande, et qu'après cette proclamation, les autres mesures et poids cesseront d'être autorisés ».

La prochaine Conférence Impériale se réunira à Londres en juin de cette année. Le vote du Parlement australien recevra donc à très bref délai la sanction attendue.

#### Grèce.

Une Ordonnance Royale de l'année 1836 a rendu le Système métrique légal, mais non obligatoire. Le Gouvernement l'a employé depuis cette époque dans ses actes officiels et pour ses transactions avec les particuliers, mais il s'est peu répandu dans le commerce proprement dit.

Dans le courant de l'année dernière, le Gouvernement hellénique a décidé de rendre obligatoire l'emploi des mesures métriques, probablement à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1912. M. J. Démétriadès, officier de la marine hellénique, a été chargé d'une mission auprès du Bureau international, pour recueillir des documents préparant la réforme.

#### Siam.

Les unités employées dans le Royaume de Siam semblent n'avoir jamais été rigoureusement définies. En revanche, le Gouvernement de Bangkok a introduit, dès l'année 1889, le Système métrique dans toutes les mesures et transactions relatives aux Travaux publics. Ultérieurement, le wah, unité de longueur voisine de 2 mètres, a été fixée à cette dernière valeur, alors que l'unité de capacité, vaguement définie comme étant représentée par le volume d'une demi-noix de coco, a été unifiée sur la valeur du litre, dont elle était voisine.

L'an dernier, le Gouvernement siamois a décidé d'adopter le Système métrique à titre obligatoire. La date de l'obligation sera fixée, pour chaque province, dans les plus brefs délais compatibles avec une bonne organisation de la vérification et avec la fourniture d'instruments et étalons métriques. La première application semble devoir coïncider avec le début de l'année 1912. M. W.-A. Graham, chargé de mission par le Gouvernement du Royaume de Siam, a préparé, après entente avec le Bureau international, les éléments de la nouvelle législation.

### Opinions antimétriques.

J'ai mentionné, dans mon précédent Rapport, l'action engagée par quelques adversaires irréductibles du Système métrique en vue de retarder son adoption par les pays anglo-saxons. Dans ces derniers temps, les attaques se sont faites moins acerbes; et la position prise par les adversaires de la réforme s'est, de plus en plus, enfermée dans un argument développé déjà par Sir Frederick Bramwell, et repris récemment (1).

« Il est dans les intérêts des industriels britanniques de conserver les unités anglaises des poids et mesures, parce qu'elles sont les meilleures et les plus pratiques; et, de plus, les industriels des pays métriques rencontrent, sur les marchés d'Extrême-Orient, des obstacles dus au fait que les poids et mesures britanniques sont établis dans ces régions; cette circonstance donne, à nos commerçants et à nos industriels, un avantage sur les intéressés des pays métriques qui cherchent à conquérir ces marchés. »

Un article éditorial paru récemment dans *African Engineering*, tout en abandonnant comme insoutenable l'argument de supériorité invoqué par Sir Frederick Bramwell, retient cependant celui de la gêne imposée au commerce métrique :

« Quels que puissent être les inconvénients du Système britannique des mesures, il a le grand avantage de créer une obstruction à la vente de machines continentales sur les marchés où le Système britannique a été adopté; et, pour cette raison seule, nous devons faire tout ce qui est en notre pouvoir pour empêcher l'introduction du Système métrique dans l'Afrique du Sud, ou partout où l'on achète des machines. Si l'Afrique du Sud produisait elle-même plus de machines, et si elle ne constituait pas, pour nos produits, un marché aussi considérable, le système de mesures auquel elle se rallie aurait moins d'importance; mais, aussi longtemps qu'elle conserve les mesures britanniques, nous aurons un avantage marqué

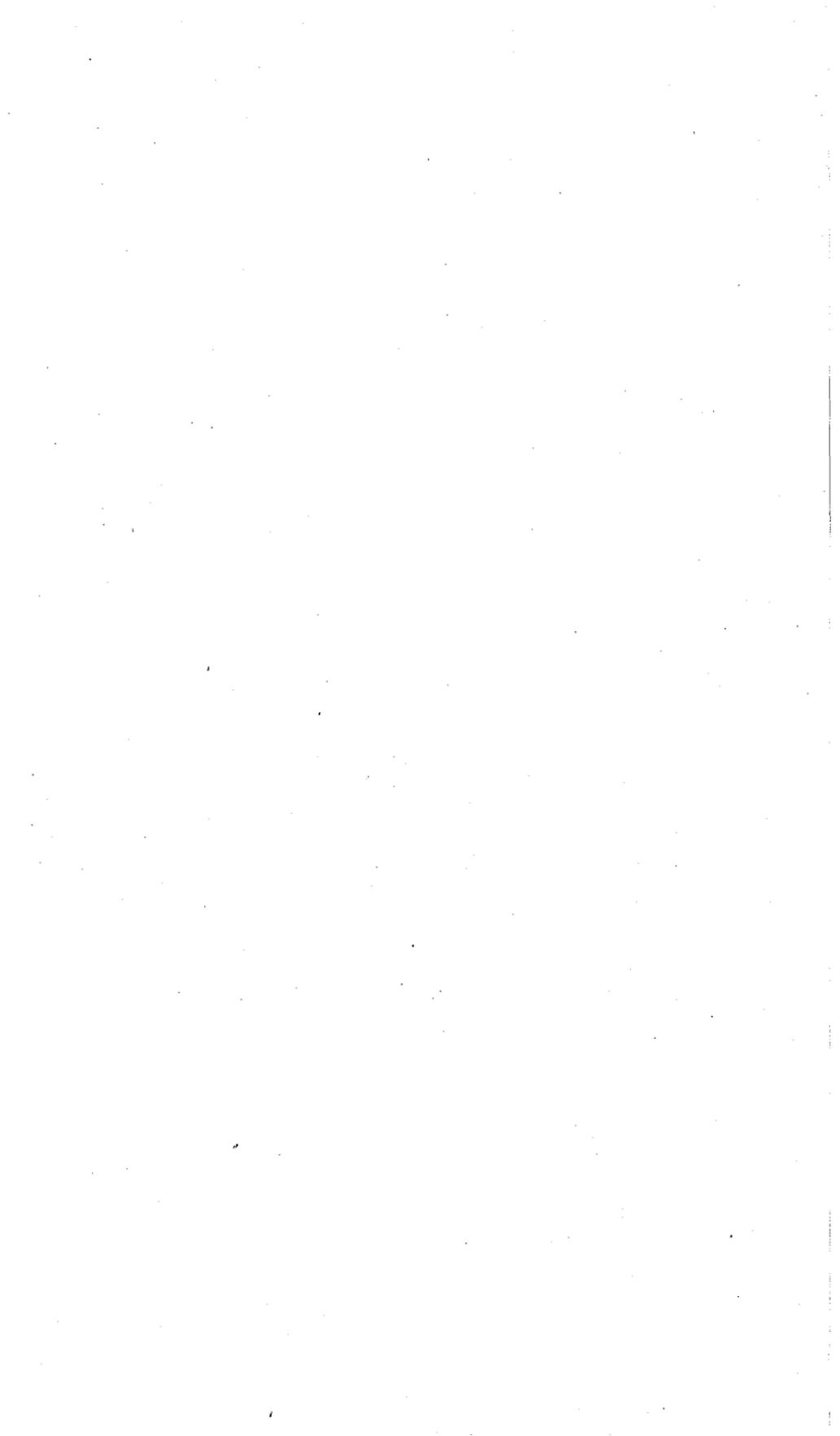
---

(1) « Sir Frederick Bramwell avait l'habitude de déclarer que nous avions un avantage sur les étrangers, parce que nous arrivons aisément à comprendre leurs mesures, tandis qu'ils n'arrivent jamais à comprendre les nôtres » (Cité par *The Surveyor*, Sidney, 31 janvier 1911).

sur nos concurrents continentaux, qui semblent moins disposés à employer le pied que les anglais à se servir du mètre. »

Dans les lignes qui précèdent, le problème est nettement posé; les mesures britanniques assurent encore certains marchés au commerce anglais; mais les événements sommairement indiqués au cours de ce Rapport mettent clairement en évidence le constant progrès du Système métrique, et semblent préparer, pour les années à venir, une expansion plus rapide encore; l'argument développé par *African Engineering* perd donc chaque jour un peu de son efficacité.





---

## INDICATIONS POUR L'ÉLABORATION

D'UNE

# LOI SUR LES POIDS ET MESURES.

---

### INTRODUCTION.

Depuis qu'ont été promulguées les premières lois prescrivant l'emploi du Système métrique, une série d'événements se sont produits, qui ont profondément modifié les idées concernant les unités, tant au point de vue de la Science qu'à celui de l'Industrie. D'une part, en effet, le progrès des notions scientifiques relatives aux mesures a conduit à donner aux définitions concernant les unités fondamentales une précision qui eût semblé superflue autrefois ; et une entente conclue entre les principaux États civilisés a créé un organisme mondial chargé à la fois d'adapter constamment le Système métrique aux progrès de la Science et de la Technique, et d'assurer l'uniformité parfaite de son application jusqu'aux plus extrêmes limites de précision des mesures. D'autre part, l'évolution de l'industrie a fait apparaître, comme susceptibles de transactions commerciales, des objets nouveaux, tels que le travail ou la puissance mécanique, ou les grandeurs diverses dont s'occupe la science électrique.

Il est nécessaire, dans les lois sur les poids et mesures, de tenir compte de ce nouvel état de fait, et de soumettre à une refonte, leur donnant à la fois plus d'extension et plus de précision, les lois établies antérieurement à la double évolution sommairement indiquée ci-dessus.

On rappellera d'abord, dans les pages qui suivent, les principes qui doivent guider dans l'élaboration d'une loi nouvelle, puis on présentera un projet des articles fondamentaux d'une telle loi.

ÉVOLUTION DANS LES DÉFINITIONS.

LA CONVENTION DU MÈTRE ET SES CONSÉQUENCES.

L'unité fondamentale de longueur — le Mètre — ayant été rapportée par un facteur simple à l'une des dimensions de la Terre, il était naturel que la loi instituant le Système métrique fit mention de cette relation fondamentale. Mais, en même temps, la longueur du Mètre était matérialisée par l'étalon des Archives de France, réalisé de manière à représenter aussi bien que possible sa valeur de définition. Cet étalon était ainsi, en pratique, le véritable représentant de la longueur formant le point de départ de tout le Système.

On avait, de même, établi un kilogramme de telle sorte qu'il fût, aussi exactement que possible, égal à la masse du décimètre cube d'eau dans des conditions minutieusement déterminées. En conséquence, l'unité de masse possédait, comme l'unité de longueur, une double définition : celle qui la rapportait au Mètre, et celle qui la liait à son étalon matériel.

La pensée qui avait fixé l'unité de longueur par une grandeur prise dans la nature devait avoir, sur l'expansion du Système métrique, la plus heureuse influence. Internationale de son essence, elle ne devait susciter aucune jalousie nationale, et le sacrifice qu'avait fait la France de ses propres unités devait inciter les autres pays à la même renonciation.

Toutefois, il est contraire à l'esprit de la Métrologie moderne de donner, d'une même grandeur, deux définitions distinctes, fussent-elles très voisines l'une de l'autre ; et il était conforme aux intérêts des applications pratiques du Système métrique de rapporter la longueur fondamentale du système à son étalon matériel.

La double définition du Kilogramme devait subir le même sort. Sa dérivation du décimètre cube une fois effectuée par des expériences très précises, on devait s'en tenir à sa représentation matérielle, et se borner à copier les kilogrammes étalons sur le prototype fondamental.

Faire passer cette évolution dans le domaine des faits et lui donner en même temps une portée universelle fut l'une des œuvres accomplies par les organismes que créa la Convention du Mètre.

Cette convention, signée à Paris le 20 mai 1875, et à laquelle vingt-cinq États participent actuellement <sup>(1)</sup>, a institué :

1° Une Conférence générale des Poids et Mesures, qui se réunit tous les six ans, et délibère valablement sur toutes les questions fondamentales relatives au Système métrique et à son organisation internationale ;

2° Un Comité permanent, qui est l'organe exécutif de la Conférence ;

3° Un Bureau International, placé sous la haute surveillance de ce Comité, et dont l'une des attributions est de déterminer, pour les États contractants, des étalons précis des unités métriques.

La première Conférence générale, réunie en 1889, eut pour mission de sanctionner les prototypes internationaux qui, copiés pour leur valeur sur ceux des Archives de France, devaient représenter dans l'avenir, pour le monde entier, les unités fondamentales de la longueur et de la masse ; cette Conférence sanctionna également les copies de ces prototypes réparties entre les États.

Depuis cette époque, la grande majorité des États adhérents à la Convention du Mètre ont sanctionné à leur tour les prototypes internationaux par des lois ou des décrets <sup>(2)</sup>, et l'un des premiers points à envisager dans la révision des lois restées étrangères à cette sanction, serait de l'assurer, en légalisant en même temps les étalons nationaux.

On pourrait s'en tenir là, si l'on pensait devoir se borner à mettre les législations en harmonie avec les conventions internationales. Mais on peut franchir utilement une autre étape, et profiter des révisions prochaines pour élaborer des lois répondant aux nécessités du temps présent.

---

<sup>(1)</sup> Allemagne, République Argentine, Autriche, Belgique, Bulgarie, Canada, Chili, Danemark, Espagne, États-Unis d'Amérique, France et Algérie, Grande-Bretagne et Irlande, Hongrie, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pérou, Portugal, Roumanie, Russie, Serbie, Suède, Suisse, Uruguay.

<sup>(2)</sup> Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Danemark, États-Unis d'Amérique, Espagne, France, Grande-Bretagne et Irlande, Hongrie, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pérou, Portugal, Roumanie, Russie, Suède, Suisse.

UNITÉ DANS LES DÉFINITIONS. EXTENSION DE LA LOI.

*Kilogramme, décimètre cube, litre.* — On vient de voir que le Mètre et le Kilogramme ont été ramenés à une définition unique, celle que fournissent leurs étalons prototypes. Pour le Mètre, la définition déjà donnée par la Commission réunie en 1872 en vue de préparer la Convention du Mètre était pleinement suffisante. Pour le Kilogramme, le Comité international et les Conférences générales ont pu préciser encore les définitions antérieurement acceptées. Ainsi, la première Conférence, mettant un terme à l'ambiguïté perpétuée par le double sens attribué au mot *Poids*, déclara que le prototype international du Kilogramme serait considéré désormais comme représentant l'unité de masse du Système métrique.

Lorsqu'on matérialisa le Kilogramme par un étalon en platine établi en cherchant à réaliser sa définition par des expériences assurément très précises mais non rigoureuses dans le sens mathématique de ce terme, on le détacha, dans son existence légale, de cette définition elle-même. Mais, pour conserver au Système métrique la relation, d'une valeur pratique capitale, entre les unités de la masse et de la capacité, le Comité international et la Conférence désignèrent sous le nom de *Litre* cette unité de capacité, représentée par le volume de 1 kilogramme d'eau dans des conditions spécifiées.

Le Litre diffère du décimètre cube de la quantité dont le Kilogramme s'écarte lui-même de sa définition primitive. Cette quantité est, fort heureusement, d'un ordre de petitesse tel qu'il a fallu toute la précision des mesures modernes et de longues années de travail pour la mettre sûrement en évidence et en donner la valeur.

On admet aujourd'hui la relation

Litre ou volume du kilogramme d'eau = 1,000027 décimètre cube,

quantité si voisine de l'unité que, dans l'immense majorité des applications, on pourra la considérer comme égale à l'unité. On assimilera également le kilolitre, volume d'une tonne d'eau, au mètre cube, et le millilitre, volume du gramme d'eau, au centimètre cube.

*Densité.* — On a coutume de définir la densité d'un corps comme le rapport de la masse d'un certain volume de ce corps à la masse d'un même volume d'eau à son maximum de densité, l'eau et le corps

considéré étant envisagés dans l'état où ils se trouvent lorsqu'ils sont soumis à la pression atmosphérique normale. D'autre part, la masse spécifique <sup>(1)</sup> d'un corps est, dans un système quelconque d'unités, la masse de l'unité de volume de ce corps.

Dans le Système britannique par exemple, la masse spécifique d'un corps est numériquement exprimée par le nombre de grains que contient le pouce cube de ce corps. Lorsque les unités sont fondées sur la tradition, il n'existe aucune relation nécessaire entre la valeur de la densité et celle de la masse spécifique ; ces deux notions sont numériquement indépendantes, et doivent être ramenées l'une à l'autre par un calcul dont la complication ne dépend que de la précision avec laquelle le rapport est connu et appliqué.

Au contraire, la définition primitive du Kilogramme entraînait la valeur *unité* pour la masse spécifique ou volumique de l'eau ; et dans les notions modernes des unités métriques, cette valeur ne diffère de 1 que dans la même proportion où le décimètre cube diffère du litre. La masse spécifique de l'eau dans les conditions normales est égale à 0,999973, quantité qu'on assimilera à l'unité dans toutes les applications, à la seule exception des plus précises. L'unité rigoureuse est réalisée, en revanche, si l'on rapporte les volumes non plus au décimètre cube, mais au litre.

La nécessité d'une définition correcte de la densité est imposée par le commerce des liquides alcooliques, les achats et les ventes des solutions sucrées ou salines, ainsi que par la fixation des droits de l'État appliqués à ces divers objets.

*Les unités de la force.* — Bien que les diverses quantités mesurables possédant une valeur industrielle ou commerciale, comme la force et les grandeurs qui en dérivent, ne soient pas rapportées à un système unique, il ne semble pas qu'on doive différer la réglementation des transactions fondées sur ces quantités.

En effet, s'il subsiste encore un dualisme entre les systèmes de mesure des quantités dynamiques, cela tient à deux courants parallèles d'opinions ; l'un d'eux tend à utiliser directement la pesanteur pour la mesure des forces ; l'autre cherche à substituer au système ainsi constitué un ensemble dans lequel les unités dérivées soient

---

(<sup>1</sup>) Le qualificatif *spécifique* ayant un sens multiple, dès lors mal défini, on a proposé (Hospitalier) de le remplacer, dans le cas actuel, par le terme *volumique*, dont l'usage tend à se répandre.

reliées aux unités fondamentales par des facteurs simples, facilitant autant que possible les applications numériques. C'est sur ce dernier qu'a été fondé tout le système auquel on rapporte les grandeurs du domaine de l'électricité, et cette coordination des unités électriques est pour beaucoup dans le prodigieux développement d'une science et d'une industrie pour lesquelles elle constitue un langage uniforme, simple et pratique.

L'industrie électrique, de création moderne, n'était pas liée, comme les industries mécaniques, à des habitudes déjà ancrées dans l'esprit des ingénieurs, de telle sorte qu'elle a pu bénéficier, dès sa création, du système d'unités qui avait été élaboré pour elle. Les industries mécaniques, au contraire, dont les calculs ont été fondés sur l'ancien système, ne s'en détachent que peu à peu, et sous la pression de la physique et des industries électriques. Il faut tenir compte de cet état de fait ; et, tout en donnant dans la loi une place prépondérante au système qui est celui de l'avenir, conserver une existence légale à des unités dont il est impossible de faire dès maintenant abstraction.

Du côté des unités usuelles des mécaniciens, on peut cependant réaliser un progrès. Il ne suffit pas, en effet, de donner à une unité de force le nom, accompagné du suffixe *force*, de l'unité de masse qui en réalise la valeur par son attraction réciproque avec la terre.

L'accélération de la pesanteur variant d'un point à l'autre de notre globe, il faut préciser le lieu où l'attraction exercée sur un étalon de masse engendrera la force prise pour unité. Ce lieu a été indiqué en principe comme étant situé sur le parallèle de 45 degrés et au niveau de la mer. Mais les circonstances locales faisant varier, dans l'ensemble des lieux terrestres ainsi définis, la valeur de  $g$  entre certaines limites, on s'est décidé à choisir, pour intensité normale de la pesanteur, celle qui dérive, par une réduction aux conditions normales, de la valeur déterminée au Bureau international des Poids et Mesures, soit  $980,665 \text{ cm} : \text{sec}^2$ . La valeur normale de l'unité de force, dans le système des mécaniciens, sera donc représentée par l'effort qu'exerce sur son support en repos un kilogramme situé en un lieu où l'attraction possède la valeur ci-dessus indiquée. On lui donne le nom de *kilogramme-force normal* ou simplement de *kilogramme-force*.

L'unité rationnelle de force sera réalisée, de son côté, par l'action, sur la masse de 1 kg, d'une accélération exprimée en fonction du

mètre et de la seconde par une puissance de 10. Le fait que la valeur  $10 \text{ m} : \text{sec}^2$  conduit à une force extrêmement voisine du kilogramme-force, a fait choisir l'effort ainsi obtenu comme l'unité principale de force dans le système rationnel. On lui donne le nom de *mégadyne*.

On ne saurait méconnaître toutefois qu'il serait plus avantageux, à certains égards, de prendre comme unité la force donnant au kilogramme une accélération égale à  $1 \text{ m} : \text{sec}^2$ . Nous y reviendrons à propos de l'unité du travail et de la puissance.

*La pression.* — L'unité de force entraîne l'unité de pression. Dans l'industrie, on a coutume d'envisager, pour cette dernière, la pression résultant d'un effort de 1 kilogramme-force sur une surface de  $1 \text{ cm}^2$ . En répartissant une mégadyne sur  $1 \text{ cm}^2$ , nous constituerons l'unité de pression que les physiciens nomment la *mégabarye*.

Mais une troisième unité de pression est d'usage courant : c'est la pression moyenne qu'exerce l'atmosphère au niveau de la mer. On a représenté, sur la proposition de Laplace, précisée ultérieurement, la valeur de cette unité de pression par la pression qu'exerce, dans les conditions normales de la pesanteur, une colonne de mercure de  $76 \text{ cm}$  de hauteur à  $0^\circ$ . Cette pression est encore très voisine des précédentes, comme le montre le Tableau ci-après :

VALEUR DE L'UNITÉ.	VALEUR en mégabarye.	HAUTEUR de la colonne de mercure engendrant cette pression pour $g = 9,80665 \text{ m} : \text{sec}^2$ .
Mégabarye.....	1,000000	mm 750,05
Kilogramme-force par $\text{cm}^2$ .....	0,980665	735,55
Atmosphère normale.....	1,013260	760,00

De ces trois unités de pression, la mégabarye est celle dont l'usage est le plus commode, aussitôt que la pression intervient dans le calcul du travail, si ce dernier doit être exprimé en unités rationnelles. Dans la pratique courante, ces trois unités peuvent être quelquefois confondues.

*Le travail et la puissance.* — Des indications analogues aux précédentes peuvent être données sur le travail et la puissance mécanique. Pour chacune de ces grandeurs, on possède deux groupes d'unités, partant, pour leur constitution, du kilogramme-force ou de la mégadyne. Multipliant l'une ou l'autre de ces unités de force par une longueur métrique appropriée, le mètre pour la première, le décimètre pour la seconde, on constitue une unité usuelle de travail, le *kilogrammètre* ou le *joule*, qui sont les unités usuelles respectives dans le système des mécaniciens et dans celui des électriciens ou plus généralement des physiciens.

Considérant le quotient du travail par le temps exprimé en secondes, ou, numériquement, le travail engendré en une seconde, on constitue les unités de puissance, le *kilogrammètre par seconde*, qui n'a pas de nom spécial, ou le *watt* égal à un joule par seconde.

Le kilogrammètre par seconde a engendré à son tour deux multiples usuels : le *cheval* = 75 kilogrammètres par seconde et le *poncelet* = 100 kilogrammètres par seconde.

Les multiples usuels du watt sont l'hectowatt et le kilowatt. Ces derniers conduisent à créer, par retour en arrière, des unités de travail : l'hectowatt-heure et le kilowatt-heure, souvent employés dans le calcul des consommations urbaines, ou le kilowatt-an, unité en usage dans la vente continue de grandes quantités d'énergie électrique.

Au sujet des indications qui précèdent, deux remarques s'imposent. La première est relative au cheval. Cette unité empirique, proposée par Watt à la suite d'expériences lui ayant fait connaître la puissance moyenne d'un cheval, a été fixée, dans sa valeur numérique, en fonction des unités britanniques, puis métriques de masse et de longueur, et ramenée à des nombres ronds : 550 pieds-livres en Angleterre, 75 kilogrammètres par seconde dans les pays métriques. Ces deux unités diffèrent de 1,4 pour 100, ce qui constitue un premier défaut essentiel du cheval, puisque, dans le langage courant, on ne distingue pas le cheval britannique du cheval fondé sur les unités métriques. Puis, pour ce dernier, le facteur 75 crée une complication qu'il importe de faire disparaître. C'est en raison de ces défauts qu'a été institué le poncelet, qui ne conduit à aucune ambiguïté, et est relié par un facteur simple au kilogrammètre. Il est, de plus, voisin du kilowatt, et ne nécessite aucune nouvelle accoutumance pour passer de l'un à l'autre.

Le cheval étant encore en usage, on ne peut ignorer son existence dans une loi; mais celle-ci doit être conçue en vue de la possibilité d'en faire un jour abstraction.

La seconde remarque est relative à la genèse du joule. En passant par la mégadyne, on fait intervenir une fois 10 mètres, l'autre fois 1 décimètre. Or, on peut tout aussi bien créer une unité de force égale à  $1 \text{ kg} \times 1 \text{ m} : 1 \text{ sec}^2$ , et, en multipliant cette dernière par 1 m, revenir au joule. Cette unité de travail est donc directement et rationnellement atteinte dans le système kilogramme-mètre-seconde.

Au sujet des unités dynamiques, la loi devra s'accommoder encore d'un inévitable dualisme; elle devra se borner à donner, des unités de l'un et de l'autre systèmes, des définitions claires, évitant toute ambiguïté, en attendant le moment où toutes les unités dynamiques pourront être ramenées à un système unique.

*Unités électriques.* — Un seul système d'unités est actuellement accepté par les électriciens du monde entier. Ce système est réalisé en principe si l'on introduit, dans les relations qui règnent entre les grandeurs de l'électromagnétisme et celles de la longueur, de la masse et du temps, les valeurs de ces trois dernières, mesurées par le centimètre, le gramme et la seconde. Mais en fait, comme ce procédé conduirait à des unités d'un ordre de grandeur peu pratique, on multiplie chacune d'elles par une puissance entière de 10, choisie à la fois de manière à conduire à des grandeurs maniables, et à constituer un ensemble cohérent <sup>(1)</sup>. La loi de Joule donne, en partant des unités de l'électricité, le joule et le watt; ainsi le système des unités électriques se relie à celui qui a été décrit ci-dessus.

Pour la représentation des unités électriques, on peut suivre deux procédés distincts.

Le premier, lié au développement historique du système, consiste à conserver les relations établies entre chacune des unités électriques et les unités fondamentales de longueur, de masse et de temps.

Le second, plus conforme aux décisions des récentes conférences

---

<sup>(1)</sup> Ce système est complet en lui-même, sans l'intervention d'aucun facteur numérique, si l'on choisit comme unités fondamentales,  $10^9 \text{ cm}$ ,  $10^{-11} \text{ g}$  et  $10^0 \text{ seconde}$ .

internationales, dictées par des considérations d'ordre pratique, rapporte un nombre minimum de ces unités aux types qui les matérialisent, et en déduit les autres, en conservant les liaisons établies par les définitions primitives.

L'application du premier procédé consiste simplement à dresser le Tableau suivant des unités théoriques, considérées comme unités légales.

	Valeur en C. G. S.	Nom.
Intensité de courant.....	$10^{-1}$	ampère
Quantité d'électricité.....	$10^{-1}$	coulomb
Force électromotrice ou différence de potentiel.....	$10^8$	volt
Capacité.....	$10^{-9}$	farad
Résistance.....	$10^9$	ohm
Résistivité.....	$10^9$	ohm.cm
Conductance.....	$10^{-9}$	mho
Conductivité.....	$10^{-9}$	mho : cm
Inductance.....	$10^9$	henry
Champ magnétique.....	$10^0$	gauss
Force magnétomotrice.....	$10^0$	gilbert
Flux magnétique.....	$10^0$	maxwell
Perméance.....	$10^0$	
Perméabilité.....	$10^0$	
Reluctance.....	$10^0$	ørstedt
Reluctivité.....	$10^0$	

Ce Tableau conserve, à l'ensemble des unités électriques (1), toute l'élégante cohésion qui a présidé à son établissement; mais, indépendant de toute représentation matérielle, il laisse à l'application de la loi le soin d'établir le lien physique entre les unités du domaine de l'électricité et les unités fondamentales de longueur, de masse et de temps.

L'élaboration plus récente du système, en vue des applications pratiques, s'est séparée des origines, et a créé volontairement une dissymétrie entre les unités. Certaines d'entre elles sont définies par leurs étalons matériels, les autres en sont déduites.

---

(1) Les unités magnétiques le gauss et le maxwell ne font pas partie du système cohérent  $10^9$ cm,  $10^{-11}$ g,  $10^0$ sec.

L'évolution entre le premier et le second procédé est analogue à celle qui s'est produite dans les définitions fondamentales des unités métriques. Originellement, ainsi qu'on l'a rappelé précédemment, le kilogramme était relié à l'unité de longueur par la masse du décimètre cube d'eau. Aujourd'hui, l'unité fondamentale de masse est uniquement représentée par son étalon, et même on en a déduit l'unité de capacité, le litre. Telle semble donc être la voie naturelle par laquelle on passe des principes de constitution d'un système d'unités aux nécessités de leur emploi pratique.

Parmi les grandeurs de l'électricité, il en est trois que l'on peut considérer comme primordiales, et donnant naissance à toutes les autres; ce sont : la force électromotrice, l'intensité de courant et la résistance, liées entre elles par la loi d'Ohm. Les autres, telles que la capacité, la quantité d'électricité ou l'intensité de champ magnétique, s'en déduisent en connexion avec les grandeurs fondamentales de l'espace ou du temps; il en est de même des propriétés de la matière, comme la conductivité ou la résistivité.

Si donc, on considère comme assez simple pour ne donner lieu à aucune difficulté pratique supplémentaire le passage entre les grandeurs fondamentales et les autres, on pourra se borner à représenter matériellement les premières, renonçant ainsi à créer des étalons fondamentaux pour des grandeurs telles, par exemple, que la capacité. C'est dans ce sens que les conférences des unités électriques ont récemment résolu la question.

Ces conférences sont même allées plus loin. Elles ont envisagé comme une nécessité inéluctable le fait, pour un système d'unités, de satisfaire rigoureusement à la loi d'Ohm, et ont posé le principe de la définition matérielle de deux seulement des unités des grandeurs fondamentales, la troisième s'en déduisant d'elle-même.

Il semble qu'en prenant cette décision, les conférences aient un peu exagéré la portée pratique des relations théoriques. Si, en effet, il est démontré qu'on puisse donner une bonne représentation matérielle des trois grandeurs fondamentales, il doit suffire aux besoins de la pratique que les représentants de ces unités soient assez approchés pour que les écarts n'atteignent jamais les limites imposées par la précision la plus élevée des mesures industrielles ou commerciales; et, pour les déterminations scientifiques, il sera toujours loisible d'apporter aux résultats les petites corrections que le progrès des mesures révélera nécessaires; d'autre part, si l'on considérait les principes comme intangibles, le pre-

mier procédé, consistant à légaliser simplement le Tableau fondamental établi en fonction du centimètre, du gramme et de la seconde, pourrait seul fixer la valeur de toutes les unités.

Depuis que, dans une réunion tenue à Londres en 1908, la Conférence internationale des Unités électriques a posé le principe des deux unités matérielles, les idées sur les relations entre les grandeurs du domaine de l'Électricité ont encore évolué dans le sens qui vient d'être indiqué; et, la possibilité ayant été finalement reconnue de matérialiser avec précision une représentation de l'unité laissée encore de côté — le volt, — il est maintenant conforme aux intérêts de la Technique d'en donner, dans une législation nouvelle, une définition pratique tenant compte de cet état de fait.

La définition de l'unité de champ magnétique, le gauss, soulève encore quelques difficultés. Cette unité est ordinairement donnée, dans les traités, en partant de l'unité de masse magnétique, dérivée elle-même de l'unité d'effort. Or, la masse magnétique isolée est une quantité fictive, ou tout au moins irréalisable.

Mais l'unité de champ magnétique peut être définie en partant de l'unité de courant électrique.

Considérons un solénoïde uniforme et d'une longueur telle que le carré de son diamètre puisse être négligé par rapport au carré de sa longueur  $l$ . Soient  $N$  le nombre de spires qui le constituent,  $I$  l'intensité du courant qui le parcourt. Le champ en un point de son intérieur est

$$H = \frac{4\pi NI}{l};$$

ou, en posant  $D = \frac{N}{l}$ , quantité que l'on peut nommer la « densité d'enroulement »,

$$H = 4\pi DI.$$

L'ampère étant assimilé au courant dont la valeur en C.G.S. est égale à  $10^{-1}$ , l'unité C.G.S. de champ, déduite de l'unité pratique de courant, résultera de l'équation

$$1 = 4\pi D 10^{-1},$$

d'où

$$D = \frac{10}{4\pi}.$$

Le gauss international sera donc le champ régnant à l'intérieur d'une bobine indéfinie, constituée par un enroulement uniforme dont la densité est  $\frac{10}{4\pi}$  tour par centimètre, et qui est parcouru par un courant de 1 ampère.

Cette définition est compliquée surtout par l'énonciation du facteur  $\frac{10}{4\pi}$ ; mais elle est la seule cohérente avec les définitions des autres grandeurs de l'électricité, admises dans la loi.

L'unité de flux, le maxwell, se définit, dès lors immédiatement, comme étant égale à 1 gauss. cm<sup>2</sup>, perpendiculairement aux lignes de force; celle de la force magnétomotrice, le gilbert, comme 1 gauss. cm dans le sens des lignes de force.

Les unités des propriétés magnétiques, perméabilité et reluctivité, sont définies par la valeur de ces propriétés pour l'éther libre; la perméance et la reluctance ont pour unités les valeurs correspondantes dans un cube de 1 cm d'arête.

#### LIMITES DU PROJET.

Le projet ci-après a été établi conformément aux principes qui viennent d'être énoncés. Il s'occupe de décrire le seul système légal des unités; il donne, de ces dernières, ainsi que de leurs multiples et sous-multiples usuels, des définitions évitant toute ambiguïté. L'organisation de la vérification, les tolérances, les pénalités dépendant de circonstances locales, il a paru préférable de n'en pas faire mention. Dans ces diverses directions, la loi devra subir, dans chaque pays, une élaboration complète.

---

## PROJET DE LOI SUR LES POIDS ET MESURES.

### CHAPITRE I. — *Système légal.*

#### ARTICLE PREMIER

Les seules mesures légales dans... (nom du pays) sont celles du Système métrique décimal, définies dans la présente loi et énumérées dans les Tableaux annexés. Est en conséquence déclaré illégal, tout marché au comptant ou à terme, tout contrat, facture, livre de commerce, catalogue, annonce, et en général tout acte ou document commercial dans lequel les quantités ou dimensions des objets ou marchandises seront exprimées en partant d'unités autres que celles du Système métrique décimal. La vente de tout instrument de mesure ou de pesage destiné au commerce, et gradué en unités autres que celles du Système métrique, est interdite.

Les instruments destinés à l'industrie sont soumis aux mêmes règles. Toutefois, lorsqu'il s'agira de fabrications pour l'exportation, ou pour certaines opérations techniques sans répercussion sur des transactions commerciales, l'Autorité compétente pourra permettre, à titre exceptionnel, l'emploi d'étalons ou d'instruments de mesure des systèmes non prévus à la présente loi (1). Les autorisations seront accordées sur demande spéciale, appuyées des preuves de l'usage qui sera fait de ces instruments. Elles seront valables pour une durée limitée, et pourront être renouvelées dans les mêmes formes; elles pourront être retirées en tout temps.

### CHAPITRE II. — *Définition des unités.*

#### ARTICLE 2.

*Longueurs.* — L'unité fondamentale de longueur du Système métrique est le *Mètre*, défini par la distance, à la température de la glace fondante, des axes de deux traits tracés sur une barre de platine iridié, déposée au Bureau international des Poids et Mesures, et déclarée, par la première Conférence générale des Poids et Mesures, l'étalon prototype du Mètre.

Pour... (nom du pays) le Mètre sera représenté par la longueur définie en fonction d'un étalon vérifié au Bureau international des Poids et Mesures, et qui sera, en même temps que sa valeur, sanctionné par un décret (2).

---

(1) Voir Note 1, p. 236.

(2) Voir Note 2, p. 236.

Les unités légales de longueur sont les suivantes :

	Abréviation.
Kilomètre, mille mètres.....	km
Hectomètre, cent mètres.....	hm
Décamètre, dix mètres.....	dam
Mètre, unité fondamentale.....	m
Décimètre, dixième du mètre.....	dm
Centimètre, centième du mètre.....	cm
Millimètre, millième du mètre.....	mm
Micron, millionième du mètre.....	$\mu$

#### ARTICLE 3.

*Superficies.* — La superficie contenue dans le carré construit en prenant pour côté l'unité fondamentale ou une unité secondaire de longueur constitue une unité de superficie. Le nom de chaque unité de superficie est celui de l'unité de longueur qui lui donne naissance, suivi du mot *carré*. Sa désignation abrégée est celle de ladite unité de longueur portant le chiffre 2 en exposant. Ainsi :

Le mètre carré sera désigné par  $m^2$ .

Le centimètre carré par  $cm^2$ .

Dans la mesure des terres, le carré de dix mètres au côté sera nommé *Are* (désignation a); le carré de cent mètres au côté hectare (ha); le mètre carré sera nommé centiare (ca).

#### ARTICLE 4.

*Volumes.* — Le volume contenu dans le cube construit en prenant pour côté l'unité fondamentale ou une unité secondaire de longueur constitue une unité de volume. Le nom de chaque unité de volume est celui de l'unité de longueur qui lui donne naissance, suivi du mot *cube*. Sa désignation abrégée est celle de ladite unité de longueur portant le chiffre 3 en exposant. Ainsi :

Le mètre cube est représenté par  $m^3$ .

Le décimètre cube par  $dm^3$ .

Dans la mesure des bois, le mètre cube prendra le nom de *Stère* (abréviation s). Le stère aura ses multiples et sous-multiples décimaux.

ARTICLE 5.

*Masses.* — L'unité fondamentale de masse du Système métrique est le *Kilogramme*, défini par la masse du cylindre en platine iridié déposé au Bureau international des Poids et Mesures, et déclaré, par la première Conférence générale des Poids et Mesures, l'étalon prototype du *Kilogramme*.

Pour... (nom du pays) le kilogramme sera représenté par la masse définie en fonction d'un étalon vérifié au Bureau international des Poids et Mesures, et qui sera, en même temps que sa valeur, sanctionné par un décret.

Les unités légales de masse sont les suivantes :

	Abréviation.
Tonne, mille kilogrammes. ....	t
Quintal métrique, cent kilogrammes. ....	q
Kilogramme, unité fondamentale. ....	kg
Hectogramme, cent grammes. ....	hg
Décagramme, dix grammes. ....	dag
Gramme, millième du kilogramme. ....	g
Décigramme, dixième du gramme. ....	dg
Centigramme, centième du gramme. ....	cg
Milligramme, millième du gramme. ....	mg
Microgramme, millionième du gramme. ....	γ

Dans le commerce des pierres précieuses, on sera autorisé à désigner sous le nom de *Carat métrique* la masse de 2 décigrammes. L'emploi du nom de carat pour désigner toute autre masse est interdit.

ARTICLE 6.

*Capacités.* — L'unité de capacité pour les liquides ou les matières sèches est le *Litre*, volume de 1 kilogramme d'eau pure, privée d'air, à la température de 4° et sous la pression atmosphérique normale (art. 9 et 12).

Les unités de capacité dérivées du litre sont les suivantes :

	Abréviation.
Kilolitre, mille litres. ....	kl
Hectolitre, cent litres. ....	hl
Décalitre, dix litres. ....	dal

Abréviation.

Litre, unité fondamentale. ....	l
Décilitre, dixième du litre. ....	dl
Centilitre, centième du litre. ....	cl
Millilitre, millième du litre. ....	ml
Microlitre, millionième du litre. ....	λ

Dans les transactions publiques, le kilolitre pourra être considéré comme identique au mètre cube, le litre au décimètre cube, le millilitre au centimètre cube, le microlitre au millimètre cube. (*Voir* Tableau annexé.)

ARTICLE 7.

*Densité.* — L'unité de densité sera représentée par la plus grande densité de l'eau, sous la pression atmosphérique normale. La masse spécifique d'un corps sera la masse, en kilogrammes, du décimètre cube de ce corps. La densité et la masse spécifique seront considérées comme identiques pour les transactions publiques.

ARTICLE 8.

*Force.* — L'unité fondamentale de force est la force qui communique à la masse de 1 kg l'accélération de 10 m : sec<sup>2</sup>. Cette unité de force portera le nom de *Mégadyne*.

Dans les transactions publiques, on emploiera également pour unité de force l'effort statique exercé par la masse de 1 kg soumise à l'action normale de la pesanteur; on nommera cette unité le *Kilogramme-force* ou le *Kilogramme-poids*.

L'action normale de la pesanteur est celle qui communiquerait à un corps une accélération de 9,80665 m : sec<sup>2</sup>.

Les multiples ou sous-multiples décimaux du kilogramme-force seront dénommés en partant de la masse qui leur donne naissance (exemple : tonne-force, gramme-force).

ARTICLE 9.

*Pression.* — L'unité fondamentale de pression est la pression uniforme qui, répartie sur une surface de 1 cm<sup>2</sup>, produit un effort de 1 mégadyne. Cette pression est dénommée la *Mégabarye*. Elle est suffisamment bien représentée, pour les besoins de la pratique, par la pression qu'exerce, dans les conditions normales de la pesan-

teur, une colonne de mercure de 75<sup>cm</sup> à la température de la glace fondante.

Dans les transactions publiques, on autorisera l'emploi, comme unités de pression : 1° de la pression exercée par une colonne de mercure de 76 cm à 0° dans les conditions normales de la pesanteur ; 2° de la pression qui, répartie uniformément sur 1 cm<sup>2</sup>, produit un effort de 1 kilogramme-force.

La première de ces deux unités secondaires sera désignée sous le nom de *pression atmosphérique normale* ou, plus simplement d'*Atmosphère* ; la seconde sera nommée le *kilogramme-force par centimètre carré* ou l'*atmosphère industrielle*. (Voir Tableau.)

#### ARTICLE 10.

*Travail.* — L'unité fondamentale de travail est le travail produit par une mégadyne se déplaçant de 1 dm dans sa propre direction. C'est aussi le travail exercé sur le parcours de 1 m par une force communiquant, à la masse de 1 kg, une accélération de 1 m : sec<sup>2</sup>. Cette unité de travail prend le nom de *Joule*.

On pourra employer également, comme unité de travail, le travail produit par 1 kilogramme-force se déplaçant de 1 m. Cette unité prendra le nom de *Kilogrammètre*.

D'autres unités de travail pourront être obtenues par l'expression du travail fourni par le watt (art. 11) ou l'un de ses multiples ou sous-multiples décimaux pendant une durée déterminée. Cette durée devra être clairement exprimée dans le nom de l'unité (par exemple kilowatt-heure).

#### ARTICLE 11.

*Puissance.* — L'unité fondamentale de puissance mécanique est la puissance produisant, dans une seconde, un travail de 1 joule. Cette unité est dénommée *Watt*.

Ses multiples usuels seront l'hectowatt et le kilowatt ; mais tout autre multiple ou sous-multiple décimal du watt pourra être employé comme unité secondaire de puissance, à la condition d'être désigné conformément à la nomenclature du Système métrique.

On pourra prendre également comme unité de puissance dans les transactions publiques, la puissance susceptible de fournir par

seconde un travail de 100 kilogrammètre. Cette unité sera nommée le *Poncelet*.

Enfin, la puissance égale aux trois quarts d'un poncelet, c'est-à-dire à 75 kgm : sec, continuera à être autorisée sous le nom de *Cheval-vapeur*. Cette unité de puissance pourra, en tout temps, être déclarée illégale par simple décret.

#### ARTICLE 12.

*Températures.* — Les températures seront mesurées en fonction de l'échelle centigrade du thermomètre à hydrogène, dont les points fondamentaux sont : 1° la température de la glace fondant sous la pression atmosphérique normale ; 2° la température de la vapeur saturante d'eau bouillant sous la pression atmosphérique normale.

La première température sera désignée par 0°, la seconde par 100°. L'intervalle de ces deux températures sera divisé en cent parties nommées *degrés centigrades*, par des variations égales de la force élastique de l'hydrogène soumis, à 0°, à la pression exercée, dans les conditions normales de la pesanteur, par une colonne de mercure de 1<sup>m</sup> de hauteur. L'échelle des températures ainsi définie prendra le nom d'*échelle normale*.

#### Unités électriques.

##### ARTICLE 13.

*Intensité de courant.* — L'unité d'intensité de courant électrique est l'*Ampère international*. Il est représenté par le courant constant dont le passage au travers d'une solution aqueuse d'azotate d'argent, dans des conditions déterminées par l'instruction annexée (1), provoque le dépôt de 1,11800 mg d'argent par seconde.

##### ARTICLE 14.

*Quantité d'électricité.* — L'unité de quantité d'électricité, le *Coulomb international*, est égale à la quantité débitée en une seconde par un courant invariable d'un ampère international. Cette quantité est aussi celle qui, passant au travers de la solution mentionnée à l'article précédent, provoque le dépôt de 1,11800 mg d'argent.

---

(1) Cette instruction, encore en discussion, n'a pas été reproduite ici.

ARTICLE 15.

*Capacité.* — L'unité de capacité est le *Farad*, capacité d'un conducteur dont une charge électrique égale à 1 coulomb élève le potentiel de 1 volt. L'unité pratique de capacité est le microfarad, millionième du farad.

ARTICLE 16.

*Force électromotrice ou différence de potentiel.* — L'unité de force électromotrice ou de différence de potentiel, est le *Volt international*; c'est la force électromotrice en fonction de laquelle celle de l'élément Weston, constitué conformément à l'instruction annexée, est exprimée par la valeur 1,01830 à 20°.

REMARQUE. — L'application, aux extrémités d'un conducteur de 1 ohm de résistance, d'une force électromotrice de 1 volt, engendre un courant de 1 ampère, et provoque la dissipation continue d'une puissance de 1 watt. (*Voir art. 11.*)

ARTICLE 17.

*Résistance et résistivité, conductance et conductivité.* — L'unité de résistance est l'*Ohm international*, représenté par la résistance à 0° d'une colonne de mercure de section uniforme, de 106,300 cm de longueur, dont la masse est de 14,4521 g.

L'unité de résistivité est l'*Ohm-centimètre*, représenté par la résistivité d'une substance qui, pour une section de 1 cm<sup>2</sup> et sous une longueur de 1 cm, possède la résistance de 1 ohm.

On emploiera comme unités secondaires de résistivité : pour les bons conducteurs, le microhm-centimètre, égal au millionième de l'unité principale, et, pour les isolants, le mégohm-centimètre égal à un million de fois l'unité principale.

L'unité de conductance est le *Mho*; c'est la conductance que possède un conducteur dont la résistance est de 1 ohm international.

L'unité de conductivité est le *Mho par centimètre*, représenté par la conductivité d'une substance qui, pour une section de 1 cm<sup>2</sup> et sur une longueur de 1 cm, possède une conductance de 1 mho.

ARTICLE 18.

*Inductance.* — L'unité d'inductance est le *Henry*, égal au produit de 1 ohm par 1 seconde.

ARTICLE 19.

*Champ magnétique.* — L'unité de champ magnétique est le *Gauss*; c'est le champ qui règne dans le vide à l'intérieur d'un solénoïde indéfini, dont la densité d'enroulement uniforme est de  $\frac{10}{4\pi}$  tours : cm, et qui est parcouru par un courant de 1 ampère.

ARTICLE 20.

*Force magnétomotrice.* — L'unité de force magnétomotrice est le *Gilbert*; c'est la force magnétomotrice qui est produite sur un espace de 1 cm mesuré dans le vide, le long des lignes de force d'un champ uniforme de 1 gauss. On emploiera également, comme unité pratique de force magnétomotrice, l'*Ampère-tour*, égal à  $\frac{4\pi}{10}$  gilberts.

ARTICLE 21.

*Flux magnétique.* — L'unité de flux magnétique est le *Maxwell*; c'est le flux traversant 1 cm<sup>2</sup> perpendiculairement aux lignes de force, dans un champ de 1 gauss.

ARTICLE 22.

*Perméabilité, perméance, reluctivité, reluctance.* — L'unité de perméabilité ou de reluctivité magnétique est la perméabilité ou la reluctivité magnétique de l'espace vide. L'unité de perméance ou de reluctance est la perméance ou la reluctance que possède un cube de 1 cm d'arête dans le vide. L'unité de reluctance porte le nom d'*OErstedt*.

---

### Notes.

A L'ARTICLE 1<sup>er</sup>. — Les règles de construction des étalons ne doivent s'appliquer qu'à ceux employés dans le commerce direct ou dans des opérations industrielles *ayant pour conséquence des actes commerciaux*. On rangera dans ces dernières les mesures servant à établir des dimensions portées ensuite dans des catalogues ou des factures : largeur de pièces d'étoffe, etc., qui ont une répercussion immédiate sur l'établissement du prix des marchandises.

Il a semblé nécessaire de prévoir une exception aux obligations générales que doivent remplir les étalons industriels : celle de fabrications pour les pays non métriques; mais, pour prévenir tout abus, il est nécessaire d'entourer cette faculté de garanties formelles. L'autorisation en question n'est, d'ailleurs, que passagère; le temps n'est pas très éloigné en effet où toutes les nations posséderont le Système métrique.

Certaines opérations industrielles doivent aussi être réservées; les fondeurs, par exemple, possèdent des règles divisées nommées *mètres à retrait*, et qui sont destinées à mesurer des modèles pour des pièces fondues ayant ensuite les dimensions métriques données par lesdits mètres, à retrait. La loi ne pouvant pas énumérer toutes les exceptions de cette nature, il a paru sage de prévoir des tolérances susceptibles d'être accordées, après examen, par l'Autorité compétente (1).

AUX ARTICLES 2 ET 3. — Lorsqu'un État possède des étalons prototypes définissant, pour les usages nationaux, le Mètre et le Kilogramme, ils doivent être nommés dans ces articles; mais il est préférable de ne pas faire mention de leur équation. On peut prévoir, en effet, le cas d'une détérioration de l'un ou l'autre de ces étalons, et le changement de leur équation, avec remplacement de leur certificat. Il faut alors que les nouvelles équations puissent être substituées aux anciennes sans qu'il en résulte la nécessité de modifier la loi.

---

(1) Le projet suppose un état déjà avancé de l'application du Système métrique. L'étape naturelle de la première introduction, après la période facultative, semble être l'obligation commerciale et la liberté industrielle.

*Sur les étalons d'usage.*

Le Système métrique étant purement décimal, les étalons d'usage devront être conformes à la série décimale; c'est-à-dire qu'ils représenteront les multiples et sous-multiples décimaux des unités fondamentales, avec les valeurs qui leur sont le plus simplement rattachées.

La règle à suivre pour l'établissement de la série pratique des étalons consiste à créer des instruments de mesure en nombre aussi restreint que possible, mais permettant cependant d'atteindre aisément, par un groupement judicieux, toute valeur usuelle quelconque.

Dès la création du Système métrique, on établit une règle qui avait été reconnue pratique, et que la loi française du 18 germinal An III exposait comme suit dans son article 8<sup>ème</sup>.

« Dans les poids et les mesures de capacité, chacune des mesures décimales des deux genres aura son double et sa moitié, afin de donner à la vente des divers objets toute la commodité que l'on peut désirer. »

Cette règle est restée en vigueur, et, dans tous les pays, la constitution des séries d'étalons métriques lui a été subordonnée.

L'examen de cette règle, comme de toute autre analogue, est facile. Il suffit, pour y procéder, de chercher à réaliser toute grandeur donnée, avec un espacement convenable, en groupant par addition des mesures prises dans le système qu'on veut mettre à l'épreuve; le système qui se révélera comme le meilleur sera celui qui permettra d'atteindre toutes les grandeurs à la fois avec le plus petit nombre d'éléments, et en exigeant les combinaisons les moins compliquées. L'expérience montre que la règle donnée dans la loi du 18 germinal An III répond, à un haut degré, à l'ensemble de ces deux conditions.

Remarquons toutefois que l'indication de la loi est *énumérative* et non *limitative*; elle établit une règle d'action donnant le maximum de commodité avec le minimum de mesures distinctes, mais n'interdit pas que, dans des cas particuliers, d'autres étalons soient créés. Conformément aux vues de ses fondateurs, le Système métrique doit offrir tous les avantages imaginables pour les transac-

tions, et ne doit en entraver aucune. Si donc on s'en tient strictement aux étalons définis par la règle du double et de la moitié, c'est surtout parce que, dans la grande majorité des cas, ces étalons sont pleinement suffisants, et que la création d'étalons intermédiaires ne pourrait qu'entraîner des complications et de la confusion. Mais, lorsqu'il ne résultera aucun retour fâcheux d'une extension jugée nécessaire, il ne faudra pas hésiter à l'autoriser.

Ainsi, s'il s'agit d'établir des vases destinés à la mesure des liquides pour la consommation directe et intégrale, on pourra estimer que l'intervalle séparant, par exemple, 2 dl et 5 dl est trop étendu, et ne correspond pas aux habitudes des consommateurs. On pourra dès lors autoriser la création et la vérification des mesures intermédiaires dont la valeur sera fixée, et qui partageront convenablement cet intervalle. C'est pour cette raison, par exemple, que la mesure de 3 dl, d'abord prohibée en Suisse, a été ultérieurement rétablie.

On ne se considérera pas davantage comme lié par cette règle pour la longueur totale des échelles divisées, qui d'ailleurs ne sont pas mentionnées dans la loi du 18 germinal An III, et l'on n'interdira pas de construire des échelles ayant, par exemple, une longueur totale de 25 cm ou 30 cm, en alléguant que ces longueurs ne sont ni le double du décimètre, ni la moitié du mètre. Mais, en revanche, on devra tenir à ce que la *division* de ces échelles soit conforme au principe, c'est-à-dire qu'elle soit faite en centimètres ou millimètres, ou encore en demi-centimètres ou doubles millimètres, etc.

---

## ANNEXE.

TABLEAU DES MESURES LÉGALES.

NOMS.	VALEURS.	SIGNES abréviatifs.
<i>Unités de longueur.</i>		
Kilomètre.....	Mille mètres.....	km
Hectomètre.....	Cent mètres.....	hm
Décamètre.....	Dix mètres.....	dam
Mètre (¹).....	Unité fondamentale.....	m
Décimètre.....	Dixième du mètre.....	dm
Centimètre.....	Centième du mètre.....	cm
Millimètre.....	Millième du mètre.....	mm
Micron.....	Millionième du mètre.....	μ
<i>Unités de superficie.</i>		
Kilomètre carré..	Un million de mètres carrés.....	km²
Hectomètre carré ou hectare (²)..	Dix mille mètres carrés.....	hm² ha
Décamètre carré ou are.....	Cent mètres carrés.....	dam² a
Mètre carré ou centiare.....	Unité fondamentale.....	m² ca
Décimètre carré..	Centième du mètre carré.....	dm²
Centimètre carré..	Dix-millième du mètre carré.....	cm²
Millimètre carré..	Millionième du mètre carré.....	mm²

(¹) Le Mètre est la longueur définie par le Prototype international, qui a été sanctionné par la Conférence générale des Poids et Mesures réunie à Paris en 1889, et qui est déposé au Bureau international des Poids et Mesures. Le Mètre est approximativement égal à la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre.

(²) Les termes hectare, are, centiare, ne sont employés que pour les mesures agraires.

NOMS.	VALEURS.	SIGNES abréviatifs.
<i>Unités de volume.</i>		
Kilomètre cube...	Un milliard de mètres cubes.....	km <sup>3</sup>
Hectomètre cube.	Un million de mètres cubes.....	hm <sup>3</sup>
Décamètre cube...	Mille mètres cubes .....	dam <sup>3</sup>
Mètre cube ou stère (1).....	Unité fondamentale .....	m <sup>3</sup> ou s
Décimètre cube...	Millième du mètre cube.....	dm <sup>3</sup>
Centimètre cube..	Millionième du mètre cube.....	cm <sup>3</sup>
Millimètre cube..	Milliardième du mètre cube.....	mm <sup>3</sup>
<i>Unités de masse.</i>		
Tonne.....	Mille kilogrammes .....	t
Quintal métrique..	Cent kilogrammes.....	q
Kilogramme (2) ..	Unité fondamentale .....	kg
Hectogramme ....	Cent grammes.....	hg
Décagramme ....	Dix grammes.....	dag
Gramme.....	Millième du kilogramme .....	g
Décigramme.....	Dixième du gramme.....	dg
Centigramme.....	Centième du gramme.....	cg
Milligramme ....	Millième du gramme .....	mg

(1) Le terme *stère* est employé dans la mesure des bois ; les premiers multiples et sous-multiples décimaux du stère : le décastère et le décistère, sont usuels.

(2) Le Kilogramme est la masse du Prototype international, qui a été sanctionné par la Conférence générale des Poids et Mesures réunie à Paris en 1889, et qui est déposé au Bureau international des Poids et Mesures. Le Kilogramme est très approximativement égal à la masse de 1 dm<sup>3</sup> d'eau pure à son maximum de densité et sous la pression atmosphérique normale ; en effet, le volume de 1 kg d'eau pure dans ces conditions est, d'après les déterminations les plus précises : 1,000 027 décimètre cube.

NOMS.	VALEURS.	SIGNES abréviatifs.
<i>Unités de capacité.</i>		
Kilolitre (1).....	Mille litres.....	kl
Hectolitre.....	Cent litres.....	hl
Décalitre.....	Dix litres.....	dal
Litre.....	Volume de 1 kg d'eau (2).....	l
Décilitre.....	Dixième du litre.....	dl
Centilitre.....	Centième du litre.....	cl
Millilitre.....	Millième du litre.....	ml
<i>Unité de densité.</i>		
<p>Plus grande densité de l'eau pure sous la pression atmosphérique normale. Densité d'un corps dont 1 dm<sup>3</sup> possède une masse égale à 0,999973 kg.</p>		
<i>Unités de force.</i>		
Mégadyne (3)....	Unité fondamentale.....	md
Tonne-force.....	Mille kg-f.....	t-f
Kilogram.-force(4).	Effort de 1 kg au g normal.....	kg-f
Gramme-force....	Millième du kg-f.....	g-f
Milligramme-force.	Millième du g-f.....	mg-f
<p>(1) Le kilolitre, le litre et le millilitre sont, conformément à la note précédente, respectivement très voisins du mètre cube, du décimètre cube et du centimètre cube; plus exactement</p> <p align="center">1 kilolitre = 1,000 027 m<sup>3</sup>, 1 litre = 1,000 027 dm<sup>3</sup>, 1 millilitre = 1,000 027 cm<sup>3</sup>.</p>		
<p>(2) Eau pure à la température de son maximum de densité, et sous la pression atmosphérique normale.</p>		
<p>(3) Méga est le préfixe adopté pour désigner 1 million. La dyne, unité C. G. S. de force est l'effort qui communique à la masse de 1 g une accélération de 1 cm : sec<sup>2</sup>.</p>		
<p>(4) Le rapport du kilogramme-force à la mégadyne est égal au quotient de 9,80665 m : sec<sup>2</sup>, valeur normale de l'intensité de la pesanteur, par 10 m : sec<sup>2</sup>, valeur choisie pour la définition de mégadyne,</p> <p align="center">1 kilogramme-force = 0,980 665 mégadyne 1 mégadyne = 1,019 716 kilogramme-force.</p>		

NOMS.	VALEURS.	SIGNES abréviatifs.
<i>Unités de pression.</i>		
Mégabarye (1).....	1 mégadyne par cm <sup>2</sup> .....	mb
Atmosphère normale.....	Pression exercée, sous la pesanteur normale, par une colonne de mercure de 76 cm à 0°....	atm
Atmosphère industrielle.....		
<i>Unités de travail.</i>		
Joule (2).....	1 mégadyne se déplaçant de 1 dm.	j
Watt-seconde....		
Kilowatt-heure ...	3 600 000 joules.....	kw-h
Hectowatt-heure..	360 000 joules.....	hw-h
Kilogrammètre(3).	un kg-f se déplaçant de 1 m.....	kgm
<i>Unités de puissance.</i>		
Watt (4).....	1 joule par seconde.....	w
Poncelet.....	100 kilogrammètres par seconde..	p
Cheval-vapeur....	$\frac{3}{4}$ du poncelet.....	cv

(1) La mégabarye est représentée par la pression exercée, dans les conditions normales de la pesanteur, par une colonne de mercure de 75,005 cm de hauteur à 0°. Pour les besoins de la pratique, on abrégera cette valeur à 75 cm.

Les relations des trois unités de pression sont les suivantes :

	Mégabarye.	Atmosphère	
		normale.	industrielle.
Mégabarye.....	1	0,986 914	1,019 715
Atmosphère normale.....	1,013 260	1	1,033 233
Atmosphère industrielle...	0,980 665	0,967 831	1

(2) Les multiples et sous-multiples décimaux du joule sont également des unités de travail.

(3) Les multiples et sous-multiples décimaux du kilogrammètre sont désignés en partant du nom de l'unité de masse qui leur donne naissance. *Exemple* : tonne-mètre.

L'unité de longueur peut également être modifiée. *Exemple* : gramme-centimètre =  $\frac{1}{1000000}$  kilogrammètre.

1 kilogrammètre = 9,80665 joules.

(4) Les multiples et sous-multiples décimaux du watt sont des unités secondaires de puissance. Les plus usuels sont l'hectowatt et le kilowatt.

GRANDEUR.	NOM.	DÉFINITION originelle C. G. S.	DÉFINITION PRATIQUE.
<i>Unités électriques.</i>			
Intensité de courant.....	ampère	$10^{-1}$	} Par le voltamètre à azotate d'argent (art. 13). Ampère-seconde.....
Quantité d'électr.	coulomb	$10^{-1}$	
Force électromotrice, différence de potentiel....	volt	$10^{-8}$	} En fonction de l'élément Weston (art. 16). coulomb : volt.
Capacité.....	farad	$10^{-9}$	
Résistance.....	ohm	$10^9$	} Par une colonne de mercure (art. 17). ohm. centimètre.
Résistivité.....	ohm.-centimètre	$10^9$	
Conductance.....	mho	$10^{-9}$	} Par une colonne de mercure (art. 17) mho : centimètre.
Conductivité.....	mho par centimètre	$10^{-9}$	
Inductance.....	henry	$10^{-9}$	} ohm. seconde. Par un solénoïde (art. 19)
Champ magnétique.	gauss	$10^{-9}$	
Force magnéto-motrice.....	gilbert	$10^{-9}$	} gauss. cm.
	ampère-tour	$\frac{4\pi}{10}$	
Flux magnétique.	maxwell	$10^9$	} gauss. cm <sup>2</sup> . Propriété correspondante de l'espace vide, et valeur dans un cube de 1 cm d'arête.
Perméance.....		$10^9$	
Perméabilité.....		$10^9$	
Reluctance.....	œrstedt	$10^9$	
Reluctivité.....		$10^9$	
<p>Les multiples et les sous-multiples usuels des unités électriques progressent par puissance de 1000; leurs noms sont formés à l'aide des mêmes préfixes que pour les unités des autres grandeurs.</p>			





# TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
Liste des membres du Comité international des Poids et Mesures.....	v
Liste du personnel scientifique du Bureau international... ..	vii
<b>Procès-verbaux des séances de l'année 1911.....</b>	<b>1-107</b>
<i>Procès-verbal de la première séance, du 29 mars 1911.....</i>	<i>1-56</i>
Ouverture de la session.....	1
<i>Rapport du Directeur du Bureau international sur les exercices de 1909-1910 et 1910-1911.....</i>	<i>3-55</i>
I. — <i>Personnel.....</i>	3
II. — <i>Bâtiments.....</i>	3-4
III. — <i>Machines et Instruments.....</i>	4-7
Transformation du comparateur géodésique. Nouvelle règle géodésique. Étalons à bouts en quartz. Cube de quartz et pièces annexes. Accumulateurs.	
IV. — <i>Comptes.....</i>	7-31
1. — Frais d'établissement et d'amélioration du matériel scientifique.....	7-8
2. — Frais des étalons et témoins internationaux.....	8
3. — Frais annuels.....	8-13
4. — Caisse de secours et de retraites.....	12-13
5. — Fonds de réserve.....	14-18
Comptabilité de 1909.....	20-25
Comptabilité de 1910.....	26-31

	Pages.
V. — <i>Travaux</i> .....	32-48
Statistique des instruments étudiés.....	32-33
Prototypes et copies des unités destinées à l'Empire chinois. Prototypes du Royaume de Bulgarie. Comparateur simplifié pour bureaux de vérification. Étude d'une machine à mesurer...	33-35
Règles géodésiques suédoises, norvégienne, chilienne et française. Fils géodésiques.....	36
Thermomètres.....	36
Détermination des Règles Type I et Type II (retracées). Dilatation de la règle en platine iridié de la Chambre centrale des Poids et Mesures de l'Empire russe. Micromètres des comparateurs.	37-38
Achèvement de la première comparaison périodique des kilogrammes nationaux.....	38-40
Détermination interférentielle d'une lame de quartz.....	40-42
Études préliminaires sur le quartz vitreux. Comparaisons verticales. Déformation par flexion de la règle géodésique. Études sur l'écroutissage des fils. Étude de rubans d'invar. Étalons à bouts.....	42-46
Étude du baros et du tantale pour étalons de masse.....	46-47
Publications.....	47
Travaux relatifs aux législations.....	47-48
Liste des certificats délivrés du 1 <sup>er</sup> avril 1909 au 31 mars 1911.....	49-55
Nomination de deux Commissions.....	56
<i>Procès-verbal de la deuxième séance, du 1<sup>er</sup> avril 1911</i> .....	57-86
Centenaire de Regnault et de Bunsen.....	57
Accessions à la Convention du Mètre : accession de la Bulgarie.....	58-61
Rapport spécial financier sur les exercices de 1910-1911.....	62-67
Rapport spécial financier sur les exercices de 1910-1911.....	68-73
Premier Rapport de la Commission des Comptes et des Finances.....	74

	Pages.
Rapport de la Commission des Instruments et des Travaux (première Partie) et discussion. ....	75-85
Exposé des progrès du Système métrique .....	86
<i>Procès-verbal de la troisième séance, du 14 avril 1911</i> .....	87-94
Deuxième Rapport de la Commission des Comptes et des Finances et discussion.....	87-94
<i>Procès-verbal de la quatrième séance, du 7 avril 1911</i> .....	95-107
Procès-verbal de la visite au caveau des prototypes.	95-96
Nomination de MM. Pérard et Maudet au titre d'Adjoints du Bureau.....	96-97
Rapport de la Commission des Instruments et des Travaux et discussion .....	97-102
Circulaire relative aux étalons à bouts.....	103-106
Cérémonies en mémoire du D <sup>r</sup> Hirsch et du Général Ibañez .....	106
Clôture de la Session.....	107
 <b>Annexes aux Procès-verbaux.</b>	
ANNEXE I. — <i>Note sur les expériences récentes faites à l'aide de fils géodésiques en invar, par J.-René Benott et Ch.-Éd. Guillaume</i> .....	111
ANNEXE II. — <i>Comparateur de moyenne précision pour l'étude des étalons à traits ou à bouts, par Ch.-Éd. Guillaume</i> .....	145
ANNEXE III. — <i>Description et étude d'une machine à mesurer, par Ch.-Éd. Guillaume</i> .....	165
ANNEXE IV. — <i>Étude sur la flexion de la règle géodésique en invar du Bureau international, par Ch.-Éd. Guillaume</i> .....	177
ANNEXE V. — <i>Les récents progrès du Système métrique (2<sup>e</sup> suite). Indications pour l'élaboration d'une loi sur les Poids et Mesures, par Ch.-Éd. Guillaume</i> .....	193

---

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS,  
46477 Quai des Grands-Augustins, 55.

---