

COMITÉ INTERNATIONAL

DES POIDS ET MESURES.

---

PROCÈS-VERBAUX

DES

SÉANCES DE 1891.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Quai des Grands-Augustins, 55.

---

1892



COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

---

**PROCÈS-VERBAUX**  
DES SÉANCES DE L'ANNÉE 1891.

---

**PROCÈS-VERBAL**  
DE LA PREMIÈRE SÉANCE,  
TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL  
Samedi 12 septembre 1891.

---

Sont présents :

**MM. ARNDTSEN, BENOÎT, BERTRAND, CHANEY, FOERSTER, GOULD,  
HIRSCH, VON LANG, DE MACEDO, THALÉN, WILD.**

La séance est ouverte à deux heures et demie.

Le Comité se trouvant, par la mort du regretté Général Ibañez, privé de son Président, le **SECRETARIE** déclare la session ouverte en constatant la présence de onze membres, et propose à ses collègues de prier **M. BERTRAND**, en sa qua-

lité de doyen d'âge, de bien vouloir présider les séances jusqu'à l'élection du nouveau Président.

Cette proposition ayant été approuvée à l'unanimité, **M. Bertrand** accepte en exprimant toute l'émotion qu'il éprouve de devoir occuper temporairement la place de l'éminent savant qui a rempli, pendant si longtemps, les fonctions présidentielles avec tant de dignité, d'aménité et d'impartialité. Quelque difficile qu'il soit de réunir à un si haut degré toutes ces qualités, **M. Bertrand** est persuadé que le nouveau Président du Comité saura s'inspirer de ce noble exemple.

**M. le PRÉSIDENT** donne la parole à **M. HIRSCH**, qui propose de renvoyer à une prochaine séance l'élection du Président et de consacrer celle d'aujourd'hui, avant tout, à rendre hommage à la mémoire du vénéré collègue dont le Comité déplore la perte. Il serait ensuite opportun, après quelques communications du Secrétaire, d'entendre, dans cette première séance, la lecture des rapports réglementaires du Directeur, attendu que **M. Benoît** est malheureusement menacé de pouvoir être appelé d'un jour à l'autre à Montpellier, auprès de son père, gravement malade. Enfin, il serait utile de nommer, dès cette séance, les deux Commissions spéciales auxquelles le Comité a l'habitude de renvoyer l'étude préalable des comptes et des finances, ainsi que celle des instruments et des travaux.

Le Comité ayant accepté cet ordre du jour, **M. le PRÉSIDENT** invite **M. HIRSCH** à prononcer l'éloge du Général Ibañez.

**M. HIRSCH** donne lecture du discours suivant :

La noble et sympathique figure que, pendant de longues années, nous avions l'habitude de voir présider nos séances, a disparu. Lorsque le Général Ibañez a été enlevé par la mort, le monde scientifique, dans lequel il avait acquis par ses nombreux et remarquables travaux une situation éminente, l'a profondément regretté. Nous tous,

ses collègues, qui avons fait sans cesse appel à ses qualités exceptionnelles d'esprit et de caractère pour diriger nos travaux, nous avons été douloureusement affectés par cette grande perte. Et celui qui a eu le privilège d'être associé le plus intimement au Général Ibañez dans la direction des deux institutions scientifiques internationales qu'il a présidées, et qui, dans une collaboration de presque tous les jours, continuée pendant un quart de siècle, a eu le bonheur d'être lié à cet homme d'élite par une étroite amitié, est cruellement frappé par ce deuil, particulièrement assombri par les tristes circonstances dans lesquelles Ibañez a été enlevé à la tendresse de sa famille, à l'affection de ses nombreux amis et à la considération des savants du monde entier.

En ce moment, je me trouve encore tellement sous le coup de cette poignante douleur que je ne me sens pas la liberté et la tranquillité d'esprit qu'il faudrait pour vous présenter un éloge digne de l'illustre savant dont nous déplorons la mort. Ce n'est pas le manque de piété envers le défunt, c'est au contraire le trouble des sentiments, causé par la mort de l'ami vénéré, qui rend difficile pour moi l'accomplissement de ce devoir sacré. Veuillez donc me pardonner si je me borne aujourd'hui à résumer brièvement devant vous les éléments principaux de cette vie si riche en grands travaux et si brillante de succès, en esquissant sa carrière militaire et scientifique, soit en Espagne, soit à l'étranger, et en énumérant ses nombreuses œuvres en grande partie classiques, surtout dans la Géodésie, mais aussi dans les Sciences militaires et statistiques.

*Don Carlos Ibañez é Ibañez de Ibéro, Marquis de Mulhacén*, est né à Barcelone le 14 avril 1825. Très jeune encore, à l'âge de quatorze ans, il entre à l'École militaire du génie, de Guadalajara, où il se distingue par son application et ses aptitudes précoces, de sorte qu'à l'âge de dix-huit ans il en sort avec le grade de premier lieutenant du génie, et qu'en 1845 il est nommé aux fonctions d'adjutant-major dans le premier bataillon du régiment des sapeurs.

En 1847, promu déjà au grade de capitaine, Ibañez fait partie de l'expédition du Portugal, où il est chargé spécialement de tracer l'itinéraire de l'armée, d'Oporto à Tuy, et de lever le plan de Valença de Minho. En récompense des services rendus et d'actions d'éclat devant l'ennemi, il est décoré de la Croix de Saint-Ferdinand et élevé en 1849 au grade de Commandant.

L'année suivante, en 1850, le jeune officier est nommé professeur à l'École du génie; mais il ne professe pas longtemps son cours, car en 1851 il est chargé de sa première mission scientifique et militaire

à l'étranger, dans le but d'étudier l'organisation du service des pontonniers dans les différentes armées. Il profite si bien de ce voyage d'instruction qu'à son retour, en 1851, il publie, en collaboration avec le lieutenant Modet, son premier ouvrage, le *Manual del Pontonero*, qui est encore actuellement employé dans l'armée espagnole, et, ayant pris une part prépondérante dans l'organisation de cette branche du génie, il reçoit l'emploi de second Commandant dans cette arme et le grade de Colonel.

S'étant ainsi fait remarquer, dès les débuts de sa carrière, par sa valeur scientifique et son travail consciencieux, Ibañez est désigné pour faire partie de la Commission chargée de la construction de la Carte d'Espagne. C'est de cette époque que date la véritable carrière spéciale du Général Ibañez, carrière à la fois civile et militaire, scientifique et administrative, au cours de laquelle il a rendu les plus grands services à l'Espagne, où il a créé pour ainsi dire la Géodésie, transformé la Topographie et la Cartographie et organisé la Statistique, et par laquelle il s'est élevé en même temps au premier rang parmi les promoteurs et les directeurs des organisations internationales pour l'avancement des travaux géodésiques et métrologiques.

Ibañez comprit tout d'abord que le vaste projet de la Carte d'Espagne devait être fondé sur une triangulation de premier ordre du royaume, qui devait commencer elle-même par la mesure d'un certain nombre de bases géodésiques dans les différentes régions du pays. Comme tout l'outillage scientifique et technique pour une vaste entreprise de ce genre était à créer, Ibañez, en collaboration avec son camarade de la Commission, le capitaine Saavedra, se mit à élaborer le projet d'un nouvel appareil à mesurer les bases. Avec un coup d'œil parfait, il reconnut que les règles à bouts, dont étaient encore munis les appareils les plus parfaits du siècle dernier et ceux de la première moitié du nôtre, que les Borda, les Bessel ne juxtaposaient plus, il est vrai, mais rapprochaient simplement pour en mesurer les intervalles au moyen de languettes à vis ou de coins en verre, seraient remplacées avantageusement pour la précision par le système, conçu la première fois par Hassler pour le Coast-Survey des États-Unis, et qui consiste à utiliser une seule règle à traits et des mesures microscopiques. Entre les deux méthodes au moyen desquelles on tient compte de l'effet de la température, Ibañez préféra aux règles bimétalliques, soit en platine et laiton qu'il a employées d'abord pour la base centrale, soit en fer et zinc, la simple règle en fer avec thermomètres à mercure incrustés convenablement.

Pour exécuter son projet, Ibañez se rendit à Paris et eut la bonne fortune de trouver en Brunner père, et plus tard en ses deux fils, des artistes constructeurs de premier ordre qui, avec la collaboration et sous la surveillance des deux officiers espagnols, ont construit l'appareil géodésique d'Ibañez, dont la perfection a abaissé l'erreur kilométrique dans la mesure des bases, de 10<sup>mm</sup> qu'elle était encore à la fin du siècle dernier, et de 2<sup>mm</sup> qu'avait atteinte Bessel, jusqu'au-dessous d'un demi-millimètre.

En effet, lorsque Ibañez mesura, en 1858-59, avec cet appareil, la base centrale de la triangulation d'Espagne, près de Madridejos, dans la province de Toledo, il trouva comme résultat de cette opération modèle la longueur 14664<sup>m</sup>,5 ± 0<sup>m</sup>,0025, et les deux mensurations de la partie centrale, longue de 2766<sup>m</sup>,9, s'accordaient à 0<sup>mm</sup>,19 près. Le même degré de précision a été obtenu avec l'appareil monométallique en fer pour les huit autres bases qu'Ibañez a mesurées plus tard en Espagne, de 1865 à 1879, ainsi que pour les trois bases suisses, qui ont été déterminées avec une erreur kilométrique de 0<sup>mm</sup>,43.

Pour expliquer l'emploi de l'appareil espagnol en Suisse, qu'il me soit permis de rappeler ici le fait qui caractérise si bien l'aimable dévouement du Général Ibañez, et donne en même temps la mesure de l'heureuse entente que l'Association géodésique internationale a développée entre les différents pays pour la coopération sur le terrain scientifique. Comme nous ne possédions pas en Suisse d'appareil de ce genre et que les mesures des bases étaient terminées en Espagne, non seulement le Gouvernement royal a mis en 1880, avec la plus grande obligeance, l'appareil Ibañez à la disposition de la Commission géodésique suisse, mais son savant inventeur est venu lui-même avec tout le personnel spécialement exercé à ces opérations et formé de vingt-trois officiers, sous-officiers et soldats, pour diriger une première double mesure de notre base d'Aarberg et initier ainsi notre personnel suisse dans le maniement de son appareil. Grâce à des facilités spéciales accordées par les chemins de fer espagnols, français et suisses, l'appareil Ibañez, accompagné de la brigade de l'Institut géodésique et statistique d'Espagne, fut transporté, par train spécial, en cinquante-huit heures, de Madrid à Aarberg.

La description de ces remarquables appareils, l'exposé des expériences auxquelles ils ont été soumis, et le compte rendu de la première grande mensuration de Madridejos à laquelle le premier a servi, sont consignés dans plusieurs ouvrages classiques qui ont fondé la réputation d'Ibañez comme géodésien, et dont deux ont été

traduits en français par un officier du génie qui avait été délégué par le gouvernement français pour suivre l'importante mesure de la base de Madrideojos, M. le colonel Laussedat, actuellement directeur du Conservatoire des Arts et Métiers, à Paris. Le premier de ces ouvrages a paru en 1859 avec la coopération de Saavedra, sous le titre : *Experiencias hechas con el aparato de medir bases, perteneciente á la Comisión del Mapa de España*, 1 vol. (« Expériences faites avec l'appareil à mesurer les bases, appartenant à la Commission de la Carte d'Espagne »).

Quelques années plus tard, en 1865, Ibañez publia le grand ouvrage : *Base central de la triangulation de España* et un autre volume : *Nuevo aparato de medir bases geodésicas*. Dans l'intervalle, Ibañez fut envoyé en 1859 de nouveau en mission à l'étranger, afin d'étudier tout ce qui se rattache à l'organisation des cadastres ainsi qu'aux levés et à la publication des Cartes topographiques dans les différents pays; en même temps il devait faire construire et acheter les instruments de Géodésie, de Topographie et de Météorologie dont l'Espagne avait besoin pour l'exécution de son vaste projet de la Carte. A son retour, il présenta un rapport complet, accompagné d'une riche collection de plans, modèles, cartes et de documents administratifs ayant trait à ces recherches.

C'était encore une des études préliminaires pour l'œuvre immense géodésique, topographique et statistique dont le général Ibañez devait plus tard doter l'Espagne qui, par les efforts de cet homme supérieur, s'est vue portée subitement aux premiers rangs dans ces branches importantes des Sciences géographiques.

Mais ce n'est pas l'Espagne seulement qui a profité de l'infatigable travail du savant officier : c'est la Géodésie en général, à laquelle Ibañez a rendu les plus grands services. Quoique animé du patriotisme le plus ardent et le plus pur, cet esprit libéral n'admettait pas, dans le domaine de la Science, l'action isolante et rapetissante des frontières politiques et surtout des vanités nationales. S'il a compris, dès l'origine, que pour réaliser les grands progrès qu'il rêvait pour sa patrie, il fallait commencer par étudier et s'appropriier les travaux et les organisations similaires des pays les plus avancés, il n'a pas tardé à rendre avec intérêts le capital scientifique et technique qu'il avait emprunté à l'étranger.

Ainsi, lorsque la « Mitteleuropäische Gradmessung », fondée en 1861 sous l'heureuse initiative de l'illustre Général Baeyer, se fut développée au bout de quelques années et fut devenue « l'Association géodésique internationale pour la mesure des degrés en Europe »,

Ibañez a été un des premiers qui se rendit à l'appel du Général Baeyer, avec lequel il se liait bientôt d'amitié. Délégué en 1866 par le Gouvernement espagnol pour assister à la Conférence de l'Association géodésique à Neuchâtel, Ibañez pouvait y offrir le concours de l'Espagne à la mesure de l'arc de méridien, s'étendant des îles Shetland jusqu'au sud de l'Espagne, et dont il fit déjà entrevoir le prolongement possible en Afrique jusqu'au Sahara.

Ibañez contribuait si richement et avec tant de persévérance aux travaux et aux Conférences annuelles de l'Association que, nommé immédiatement membre de la Commission permanente qui la dirige, Ibañez fut bientôt élu président par ses collègues. Cette charge délicate, il l'a occupée avec tant de tact, de dignité et d'impartialité, à la grande satisfaction des Gouvernements et de leurs délégués que, lorsqu'en 1886 l'institution, subissant une seconde transformation, a été réorganisée sous le titre de « l'Association géodésique internationale pour la mesure de la Terre », Ibañez fut de nouveau porté à la présidence et confirmé en cette qualité par la Conférence générale de Paris en 1889.

Mais revenons au Colonel espagnol, — car en 1862 Ibañez reçoit l'emploi de Lieutenant-Colonel du génie et, après avoir été élu Secrétaire de la Section des Sciences exactes de l'Académie de Madrid en 1864, il fut élevé à l'emploi de Colonel d'infanterie et, en 1868, à celui de Colonel du génie — et reprenons le fil chronologique de ses nombreux travaux.

En 1863, il exécuta avec l'astronome égyptien Ismael Effendi la vérification de la Règle d'Égypte, dont il a rendu compte dans un Mémoire à l'Académie de Madrid, et qui le fit nommer membre correspondant de l'Institut d'Égypte, et, sur la proposition du vice-roi, Commandeur de l'ordre de Medjidié.

A cette époque, j'avais proposé à l'Association géodésique de comprendre dans le programme de ses travaux les nivellements de précision qui, combinés avec le relevé systématique des hauteurs de la mer au moyen d'appareils enregistreurs dans un grand nombre de ports, devaient couvrir l'Europe d'un vaste réseau hypsométrique reliant les différentes mers à travers les continents, et permettre ainsi non seulement d'obtenir des altitudes exactes pour les points trigonométriques de premier ordre, mais de fournir une base solide et si possible fondée sur un seul et même niveau fondamental pour toute la topographie de l'Europe et pour les nombreux besoins pratiques des ingénieurs de chemins de fer, de canaux, etc. Le Colonel Ibañez appuya vivement ce projet et l'Espagne fut, après la Suisse,

le premier pays où l'on organisa les nivellements et installa des maréographes dans les ports d'Alicante, de Cadix et de Santander. Déjà en 1864 Ibañez publia un ouvrage sous le titre : *Estudios sobre nivelacion geodésica*. Avant sa mort, il a eu la satisfaction de voir ce vaste réseau hypsométrique de l'Espagne, s'étendant sur 10 255<sup>km</sup>, presque terminé, et la différence de niveau entre l'Océan à Cadix et Santander, et la Méditerranée à Alicante, fixée en moyenne à + 0<sup>m</sup>,52.

En 1865, Ibañez conçut le projet, qu'il exécuta jusqu'en 1868, de rattacher géodésiquement les îles Baléares entre elles et avec la péninsule. Cette opération intéressante, pour laquelle Ibañez a fait construire quelques appareils nouveaux, entre autres de puissants réflecteurs permettant l'observation nocturne à longue distance, se trouve exposée dans l'ouvrage : *Descripcion geodésica de las Islas Baleares*, qu'il a publié en 1871.

Comme preuve de l'autorité que s'était acquise déjà à cette époque le Colonel Ibañez par tous ses beaux travaux, nous mentionnons le fait qu'à la demande du gouvernement anglais il fut chargé, en 1869, de se rendre à Southampton pour y exécuter à l'Ordnance Survey la comparaison de la Règle de l'appareil Ibañez avec le yard anglais.

Les relations intimes qui existent nécessairement entre la Métrologie et la Géodésie expliquent que l'Association internationale, fondée pour combiner et utiliser les travaux géodésiques des différents pays, afin de parvenir à une nouvelle et plus exacte détermination de la forme et des dimensions du Globe, ait donné naissance à l'idée de reformer les bases du Système métrique, tout en étendant celui-ci et le rendant international. Non pas, comme on l'a supposé par erreur pendant un certain temps, que l'Association ait eu la pensée peu scientifique de modifier la longueur du mètre, afin de la conformer exactement à sa définition historique d'après les nouvelles valeurs qu'on trouverait pour le méridien terrestre. Mais, occupés à combiner les arcs mesurés dans les différents pays et à rattacher les triangulations voisines, nous avons rencontré, comme une des principales difficultés, la fâcheuse incertitude qui régnait sur les équations des unités de longueur employées. Étant tombés d'accord avec le Général Baeyer et le Colonel Ibañez, nous avons décidé, pour rendre comparables toutes les unités, de proposer à l'Association de choisir le mètre pour unité géodésique, de créer un Mètre prototype international différant aussi peu que possible du Mètre des Archives, de doter tous les pays d'étalons identiques et de déterminer de la manière la plus exacte les équations de tous les étalons employés en Géodésie, par rapport à ce prototype; enfin, pour réaliser ces

résolutions de principe, de prier les gouvernements de réunir à Paris une *Commission internationale du Mètre*. Cette Commission fut en effet convoquée en 1870; mais, forcée par les événements de suspendre ses séances, elle n'a pu les reprendre utilement qu'en 1872.

Il serait oiseux d'insister, au sein de cette assemblée, sur les résolutions de principe votées par la Commission du Mètre; il suffit de rappeler que, pour assurer l'exécution de ses décisions, elle avait recommandé aux Gouvernements intéressés la fondation à Paris d'un Bureau international des Poids et Mesures, et qu'elle a nommé une Commission permanente dont le Général Ibañez (il avait été promu en 1871 à l'emploi de Général de brigade) a été élu Président.

En cette qualité de Président de la Commission permanente, le Général Ibañez, appuyé par la grande majorité de ses collègues, a su vaincre, avec une fermeté admirable et infiniment de tact, tous les obstacles qui s'opposaient à la réalisation complète des décisions de la Commission du Mètre, et surtout à la création d'un Bureau international des Poids et Mesures. Les Gouvernements, convaincus de plus en plus de l'utilité d'une telle institution dans l'intérêt des sciences, de l'industrie et du commerce, se sont entendus pour convoquer au printemps de 1875 la Conférence diplomatique qui a abouti, le 20 mai de la même année, à la conclusion de la Convention du Mètre.

Par la finesse déliée de son esprit diplomatique autant que par sa grande compétence scientifique, le Général Ibañez, qui représentait l'Espagne dans la Conférence, a contribué beaucoup à cet heureux résultat, qui devait assurer à plus de vingt États des deux mondes et à une population de 460 millions d'âmes la possession d'un système de Poids et Mesures métriques, d'une précision inconnue jusqu'alors, complètement identiques partout et offrant toutes les garanties d'inaltérabilité.

Aussi, lorsque le Comité international des Poids et Mesures, chargé de la direction de cette institution internationale, fut nommé par la Conférence, il a choisi dans sa première séance, à l'unanimité, le Général Ibañez pour Président.

Je craindrais d'offenser les sentiments de reconnaissance de ses collègues, si je croyais devoir rappeler le dévouement désintéressé, la connaissance parfaite des affaires et le jugement sûr des hommes et des situations, la fermeté correcte et l'aménité impartiale qu'Ibañez a déployés dans cette position qu'il a occupée jusqu'à sa mort.

Car, en 1889, le Comité international, reconstitué par la Conférence générale, fut de nouveau unanime à lui confier la présidence, dont il a rempli les fonctions avec une infatigable sollicitude, même lorsque la maladie lui rendait le travail moins facile, et jusqu'aux derniers jours de sa vie.

La multiplicité des travaux et des charges d'Ibañez nous empêche de suivre, dans cette énumération, l'ordre strictement chronologique. Revenons au géodésien en Espagne.

Après avoir été en 1870 nommé Sous-Directeur de statistique et Directeur des travaux géodésiques à la Direction générale de statistique, Ibañez eut la grande satisfaction de voir, par décret du 12 septembre 1870, organiser, au Ministère del Fomento, sur sa proposition et d'après ses projets, l'Institut géographique dont il fut nommé Directeur. Tous les Gouvernements qui se sont succédé en Espagne — il est vrai que le Général Ibañez ne s'est jamais mêlé de politique — l'ont confirmé dans ce poste et ont favorisé le développement de l'Institut. En 1873, ce dernier fut augmenté et transformé sous le titre de *Direction générale de l'Institut géographique et statistique d'Espagne*. C'est le plus vaste établissement de ce genre qui existe, dont l'organisation a servi de modèle, sur bien des points, à des institutions analogues dans d'autres pays. Il embrasse à la fois la Géodésie, la Topographie générale y compris les nivellements, la Cartographie, la Statistique et en particulier les recensements périodiques de la population, enfin le service général des Poids et Mesures. Tous ces services ont été organisés par Ibañez qui, à côté du corps des topographes et de celui de la statistique, y a créé un autre personnel, nommé « Auxiliaires de Géodésie », recruté à la suite d'examens sérieux parmi les sous-officiers de l'armée espagnole, et destiné à l'exécution des nivellements de précision. En y ajoutant les inspecteurs et vérificateurs des Poids et Mesures, le personnel de l'Institut d'Espagne compte plus de six cents fonctionnaires et employés, commandés et dirigés par un grand nombre d'officiers appartenant à toutes les armes.

Une des œuvres principales de ce grand établissement et un des principaux titres de gloire pour son créateur Ibañez, est la confection et la publication, y compris les levés, les calculs, le dessin, la gravure et l'impression en cinq couleurs, de la grande Carte d'Espagne à l'échelle de  $\frac{1}{300000}$ . Cette magnifique Carte, dont la première feuille a paru en 1875 et qui comptait en 1889 soixante-trois feuilles publiées, représente un des spécimens les plus parfaits de la Cartographie moderne. Aussi remarquable par l'exactitude des données que par la

clarté du dessin et la beauté de la gravure, la Carte d'Espagne a été classée dans presque toutes les expositions générales et spéciales parmi les premières de notre époque.

Malgré tous ces grands travaux, qu'il avait à organiser et à diriger dans son Institut et dans les deux établissements internationaux qu'il présidait, Ibañez trouva encore le temps d'accepter des missions à l'étranger pour sa propre instruction et pour suivre le mouvement scientifique dans toutes les branches qu'il cultivait. Ainsi, en 1876, il fut délégué par son gouvernement au Congrès international de Statistique à Budapest et, à son retour, il publia un rapport détaillé : *Reseña de la nueva reunion del Congreso internacionale de Estadística en Budapest*.

L'année suivante, Ibañez a dirigé, d'après toutes les règles modernes de ces opérations compliquées, son premier recensement de la population de l'Espagne, exécuté simultanément dans les quarante-neuf provinces du royaume, dans la nuit du 31 décembre 1877 au 1<sup>er</sup> janvier 1878. Les résultats de cette vaste opération se trouvent consignés dans les ouvrages *Resultados generales del Censo de la poblacion verificado en 1877*, volume qui a paru en 1879, et *Censo de la poblacion de España en 1877*, deux grands volumes in-folio, publiés en 1883-84.

Pour faire apprécier l'activité du grand travailleur dans cette branche, nous dirons que, déjà en 1876, il avait fait paraître un fort volume : *Nuevo nomenclator de las ciudades, villas, pueblos y aldeas de las 49 provincias de España*, et en 1877, un autre ouvrage : *Movimiento de la poblacion de España en el decenio 1861-70*. Ajoutons tout de suite que dix ans après, en 1887, il a dirigé son second recensement général, d'après le même plan, perfectionné dans certains détails, dont il est rendu compte dans le volume publié en 1889 sous le titre : *Resultados provisionales del Censo de la poblacion hecho en 1887*.

Enfin, Ibañez a couronné son œuvre statistique par la publication, en 1888, du magnifique ouvrage : *Reseña geográfica y estadística de España*, dont notre illustre Confrère, M. Bertrand, apprécie la valeur en ces mots : « Peu de pays possèdent, à l'heure actuelle, sur leur territoire, ses ressources de toute nature, son climat, son organisation politique et sociale, sa population, son commerce et son industrie, des documents statistiques aussi étendus et aussi détaillés que ceux que renferme ce recueil de 1300 pages, accompagné d'une très belle carte à l'échelle de  $\frac{1}{500000}$  ».

Il est naturel de rattacher à ce genre de travaux d'Ibañez une im-

portante étude militaire, que le Maréchal Martinez Campos, Ministre de la guerre en 1882, lui confia sur la division du territoire espagnol en zones militaires pour la distribution des réserves de toutes les armes et des dépôts militaires; les résultats ont été publiés dans l'ouvrage, très apprécié par les militaires, sous le titre : *Zonas militares asignadas à los Cuerpos del Ejército para su reemplazo, y organizacion de sus reservas y depositos.*

A côté des remarquables travaux de genres différents qu'il a élaborés et publiés, Ibañez a encore livré au monde scientifique les résultats de l'énorme somme de travail et d'étude accomplie sous sa direction par l'Institut, dans la riche collection de huit beaux volumes qui portent le titre : *Memorias del Instituto Geográfico y Estadístico* et qui ont paru de 1875 à 1889. Tout en laissant à chacun de ses collaborateurs la juste part qui lui revient dans l'œuvre commune, Ibañez ne s'est pas borné à rassembler les mémoires de ses officiers, il les a combinés ensemble et accompagnés tous de notices d'introduction qui en font comprendre la portée, et marquent la place qui leur convient dans la grande œuvre dont il avait tracé le programme en tête du premier volume de la collection.

Parmi les nombreux avantages que présentent les Associations scientifiques internationales, il faut compter les relations personnelles qu'elles font naître entre les savants des différents pays et les entreprises, soit parallèles, soit communes, qui résultent de leurs délibérations. Ce fut dans les Conférences géodésiques, où Ibañez rencontra le Colonel Perrier, notre regretté collègue, qui représentait d'une manière si distinguée la France au sein de l'Association, que, dans les entretiens de ces deux officiers, le projet prit corps de réaliser la grande opération géodésique, déjà entrevue par Biot et ébauchée en 1862 par le Colonel Levret, de joindre les deux continents d'Europe et d'Afrique par-dessus la Méditerranée, en rattachant les triangulations d'Espagne et d'Algérie par un quadrilatère gigantesque, et en mesurant les azimuts réciproques et la différence de longitude entre les sommets espagnols et algériens. C'est la plus mémorable opération géodésique qui ait été exécutée en profitant de toutes les ressources techniques modernes, surtout de la lumière électrique, qui a rendu les signaux nocturnes visibles dans les lunettes, à des distances allant jusqu'à 270<sup>km</sup>, entre Filhaoussen (en Algérie) et Mulhacén (en Espagne), tandis que de jour, ainsi qu'on s'en était convaincu dans la reconnaissance de 1878, la lumière des héliotropes était incapable de percer les brumes sèches formées par les sables du désert et les brouillards naissant sous l'action du soleil

sur les hautes cimes de la Sierra Nevada. Mais l'emploi de la lumière électrique, aussi bien pour le pointage des angles que pour les signaux optiques, nécessitait la construction et le transport de machines Gramme et de petites machines à vapeur sur les stations, dont les deux espagnoles surtout, celles de Mulhacén à 3481<sup>m</sup> et de Tetica à 2081<sup>m</sup>, — tandis qu'en Algérie le Filhaoussen a 1140<sup>m</sup> et M'Sabiha 585<sup>m</sup>, — étaient d'un accès extrêmement difficile, de sorte qu'il fallait construire à grands frais des routes carrossables et des chemins à mulets pour pouvoir y transporter les instruments et machines. Une autre difficulté gisait dans la durée restreinte dont on disposait pour les observations mêmes et qui, à cause des circonstances atmosphériques, n'embrassait que deux mois.

Toutes ces difficultés furent vaincues par l'énergie et la circonspection des chefs et par le dévouement des vaillants officiers et savants qui, des deux côtés, ont contribué à l'exécution de cette entreprise hardie, dont le brillant succès a récompensé dignement les admirables efforts du dévoué et courageux personnel ainsi que les grands sacrifices des deux Gouvernements. Car non seulement tous les angles terrestres du grand quadrilatère ont été parfaitement mesurés, mais les coordonnées astronomiques, latitudes, azimuts et différences de longitude, ont été déterminées dans les deux stations de Tetica et M'Sabiha. De cette manière, on a doté la Géodésie d'un immense arc méridien de 28° d'amplitude, qui s'étend depuis les îles Shetland jusqu'aux confins du Sahara (plus tard peut-être sera-t-il prolongé jusqu'au cœur même de l'Afrique), et qui ne le cède point en longueur aux arcs des Indes anglaises et de la Russie.

Le bel ouvrage qui en rend compte a été publié en commun, en 1886, et porte le titre : « Publication internationale : *Jonction géodésique et astronomique de l'Algérie avec l'Espagne*, exécutée en commun, en 1879, par ordre des Gouvernements d'Espagne et de France, sous la direction de M. le Général Ibañez pour l'Espagne et de M. le Colonel Perrier pour la France ».

Parmi les nombreux titres que le Général Ibañez s'est acquis à la reconnaissance de son pays et de la science, la mémorable opération dont nous venons d'esquisser la grandeur et la portée est une des plus remarquables. C'était donc une idée heureuse du Gouvernement espagnol que celle de choisir le nom du pic de Mulhacén afin de rattacher pour toujours le souvenir de ce célèbre fait de science au nom d'Ibañez, en conférant à ce dernier le titre nobiliaire de « Premier Marquis de Mulhacén », accordé, est-il dit dans le décret royal, « pour récompenser les éclatants services rendus par lui durant sa

longue carrière, en dirigeant avec un rare talent l'Institut géographique et statistique d'Espagne, et en contribuant au prestige de la nation espagnole parmi les autres nations de l'Europe et de l'Amérique ».

Le nom d'Ibañez est inscrit pour toujours dans le livre d'or de la science, et les savants contemporains, ses collègues, aussi bien que les Gouvernements de l'Espagne et des autres pays, voudront certainement témoigner des sentiments de reconnaissance qu'ils conservent pour la mémoire de cet homme supérieur.

**M. le PRÉSIDENT** remercie, au nom du Comité, **M. Hirsch** de l'hommage qu'il vient de rendre, dans des termes si justes et si complets, à la mémoire de l'homme de grande valeur dont la science déplore la perte. Il est certain d'être l'interprète du Comité tout entier en l'associant à cet hommage, et il demande que le discours qui vient d'être prononcé, et qui figurera naturellement dans les *Procès-Verbaux*, soit en outre imprimé à part, afin de bien mettre en lumière la dette de reconnaissance contractée par le monde scientifique et par les Gouvernements, non seulement de l'Espagne, mais aussi de tous les États intéressés dans la Convention du Mètre et dans l'Association géodésique internationale, envers l'homme qui, pendant toute sa vie, a rendu les plus grands services avec tant de désintéressement.

Cette demande ayant été approuvée, **M. Hirsch** déclare qu'il prendra les mesures nécessaires.

**Le SECRÉTAIRE** est heureux de voir les membres du Comité réunis en si grand nombre pour une session aussi importante. En particulier, le Comité a la satisfaction de saluer pour la première fois **M. CHANEY**, qu'il a récemment élu par correspondance, à la suite de la démission que **M. CHRISTIE** a adressée par la lettre dont le Secrétaire donne la traduction suivante :

OBSERVATOIRE ROYAL DE GREENWICH.

Londres, le 4 juillet 1891.

CHER MONSIEUR,

Je regrette profondément que la quantité de travaux officiels qui m'incombent m'empêchent de remplir, comme il le faudrait, l'emploi de membre du Comité international des Poids et Mesures. Je suis, par conséquent, obligé d'abandonner ces fonctions et de vous remettre ma démission.

Veillez agréer l'expression de mes meilleurs sentiments.

Signé : W.-H. CHRISTIE.

*A Monsieur le docteur Hirsch, Secrétaire du Comité international des Poids et Mesures, à Neuchâtel.*

A la suite de cette démarche, le Secrétaire a adressé aux membres du Comité la circulaire suivante :

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

(Circulaire.)

Neuchâtel, le 11 juillet 1891.

MESSIEURS ET TRÈS HONORÉS COLLÈGUES,

Je viens de recevoir de la part de M. Christie, Directeur de l'Observatoire royal de Greenwich, une lettre datée du 4 juillet, par laquelle notre ancien collègue regrette beaucoup que le fardeau de son travail officiel lui rende impossible de remplir convenablement les devoirs de Membre du Comité international des Poids et Mesures, et que par conséquent il est obligé de renoncer à ces fonctions.

En m'empressant de porter cette démission à la connaissance des Collègues, j'ai l'honneur de faire observer que, d'après l'article 14 du Règlement de la Convention du Mètre, le Comité est appelé à remplir, par voie de correspondance, la vacance qui vient de se produire dans son sein.

Comme il est à désirer que le Comité se réunisse aussi complet que possible, je vous prie, Messieurs, de bien vouloir faire parvenir,

jusqu'au 15 août prochain, au Secrétaire, votre vote sur le remplacement de M. Christie.

Veillez agréer, Messieurs et très honorés collègues, l'assurance de mes sentiments dévoués.

*Le Secrétaire :*

D<sup>r</sup> AD. HIRSCH.

Ce vote par correspondance, dont le Secrétaire dépose les documents sur le bureau, a donné comme résultat la nomination de M. Chaney, Warden of the Standards, à l'unanimité des voix émises, trois membres n'ayant pas répondu.

Le Secrétaire a communiqué ce résultat à M. Chaney par la lettre suivante :

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

Neuchâtel, le 15 août 1891.

TRÈS HONORÉ MONSIEUR,

J'ai le plaisir de vous annoncer que par suite de la démission de M. Christie, datée du 4 juillet, le Comité international des Poids et Mesures, suivant l'article 14 du Règlement de la Convention du Mètre, a procédé, par voie de correspondance, à la nomination du successeur de M. Christie, et qu'il vous a élu, à l'unanimité des neuf voix émises, Membre du Comité international des Poids et Mesures.

En conséquence, j'ai l'honneur de vous inviter à prendre part à la prochaine session qui s'ouvrira *samedi, 12 septembre 1891, à 2<sup>h</sup>*, au Bureau international à Breteuil, et qui offrira une importance particulière par le fait que nous serons appelés, dans cette session, à nommer le nouveau Président, pour remplacer le regretté Général Ibañez, marquis de Mulhacén.

Dans l'espoir que le Gouvernement de Sa Majesté verra, dans ce choix du premier fonctionnaire des Poids et Mesures du Royaume-Uni, une nouvelle preuve de l'importance que le Comité international attribue à la coopération efficace d'un représentant de la Grande-Bretagne à l'œuvre commune fondée par la Convention de 1875, et que votre nomination contribuera à maintenir l'intérêt bienveillant de votre Haut Gouvernement pour notre Institution internationale, je

vous prie, Monsieur et très honoré collègue, d'agréer l'assurance de ma considération très distinguée.

*Le Secrétaire :*

D<sup>r</sup> AD. HIRSCH.

*A Monsieur Chaney, Superintendent of the Standards, Londres.*

M. Chaney a annoncé son acceptation par une lettre dont voici la traduction :

Londres, le 7 septembre 1891.

CHER MONSIEUR,

Je suis en mesure de vous accuser réception de la lettre du 15 août par laquelle vous m'avez annoncé ma nomination de membre du Comité international des Poids et Mesures.

Je n'ai pas besoin de vous dire avec quel plaisir j'accepte mon élection comme membre du Comité, et j'espère que vous voudrez bien faire savoir à mes collègues à quel point j'apprécie l'honneur qu'ils viennent de me conférer.

Permettez-moi de vous remercier de votre aimable lettre et de vous donner l'assurance que, dans la mesure de mes forces, je désire vivement travailler dans l'intérêt du Comité et aider au développement de l'œuvre du Bureau international.

J'espère vous rencontrer à la séance de samedi prochain et, en attendant, je vous prie de me croire votre très dévoué.

H.-J. CHANEY.

*A Monsieur le professeur Hirsch, Secrétaire du Comité international des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, Sèvres.*

Des trois membres absents, deux, MM. von Kruspér et Stas ont annoncé l'impossibilité où ils étaient de se rendre à Paris ; le troisième, M. Brioschi, n'a fait aucune réponse à la lettre de convocation.

Voici la lettre de M. von Kruspér, dans laquelle il délègue en même temps sa voix à M. Hirsch.

Budapest, le 7 juillet 1891.

MONSIEUR LE SECRÉTAIRE,

J'ai l'honneur de vous accuser réception de votre circulaire du 20 juin. Je regrette infiniment de ne pouvoir participer cette année à la session réglementaire, étant occupé à cette époque par plusieurs travaux officiels indispensables. Je vous prie, Monsieur le Secrétaire, de vouloir émettre mon vote dans l'élection du président, ainsi que dans les décisions du Comité.

Agrérez, Monsieur le Secrétaire, l'assurance de ma considération la plus distinguée.

DE KRUSPÉR.

La lettre de M. Stas est conçue dans les termes suivants :

Saint-Gilles, 10 septembre 1891.

MON CHER COLLÈGUE ET AMI,

Je suis au regret de devoir vous faire savoir et de devoir vous prier d'informer nos chers collègues de l'impossibilité dans laquelle je me trouve d'être présent à la session du Comité international qui se réunit le 12 de ce mois. Je préside en ce moment la deuxième session d'un Jury central d'État pour la collation des grades académiques. Le Jury ne termine ses travaux que le 26 de ce mois. Je suis absolument obligé d'être présent le 12, le 16, le 21, le 25 et le 26 pour la proclamation du résultat des examens. Si le Comité n'était pas en nombre pour procéder valablement à l'élection d'un président en remplacement de notre illustre président décédé, je me tiens à la disposition du Comité pour venir passer *une journée* à Breteuil, pour faire le nombre voulu. Ainsi, si c'était nécessaire, je pourrais être présent soit le vendredi 18, soit le mardi 22 de ce mois. Il suffira que je sois prévenu à temps pour que je puisse prendre mes dispositions.

Les services rendus par notre regretté ami à l'unification du Système métrique et au Comité international sont immenses et inoubliables. J'en suis certain d'avance, vous ne manquerez pas, mon cher collègue et ami, de les rappeler. Je tiens à vous déclarer que je m'associe de tout cœur et de conviction profonde à tout ce que vous direz à ce sujet.

Je ne veux pas finir ma lettre sans vous prier de recevoir tous mes remerciements pour la gracieuse attention que vous avez eue de vous associer, au nom du Comité international, à la manifestation qui a eu lieu à l'occasion du cinquantième anniversaire de mon élec-

tion comme membre de l'Académie royale de Belgique. J'ai été fort touché de la part que le Comité a prise à cette manifestation et je vous prie, cher collègue et ami, de vouloir bien exprimer au Comité tous mes sentiments de gratitude.

En finissant, je renouvelle tous mes regrets de l'impossibilité dans laquelle je me trouve de pouvoir assister aux réunions du Comité pendant la présente session, et je vous prie, cher collègue et ami, de recevoir et de faire agréer par nos collègues l'assurance de mes sentiments les plus dévoués,

J.-S. STAS.

M. le PRÉSIDENT aimerait que le Secrétaire répondît à M. Stas pour le remercier du grand intérêt qu'il continue toujours à porter à l'œuvre du Comité, et du dévouement dont il fait preuve en offrant, malgré son grand âge, de venir à Paris si les circonstances l'exigeaient.

M. HIRSCH répond qu'il ne manquera pas de remplir ce devoir.

M. le PRÉSIDENT donne la parole à M. le Directeur pour la lecture des rapports réglementaires, dont voici le texte <sup>(1)</sup> :

### I. — Personnel.

Le personnel du Bureau est resté le même que l'année dernière. Il n'y a donc rien à signaler sur ce chapitre.

### II. — Bâtiments.

En dehors des travaux ordinaires et inévitables d'entretien des bâtiments et des dépendances, je n'ai à signaler, comme ayant quelque importance, que les réparations exécutées dans la salle V de l'Observatoire (salle des grandes balances). Le Comité avait décidé, dans sa dernière session, de faire refaire à neuf le parquet de cette salle, qui, caché pendant de longues années sous une couverture de zinc, dans une atmosphère humide et jamais renouvelée, s'était profondé-

---

(1) Le Rapport du Directeur sur les Comptes (chap. V) figurera dans le Rapport de la Commission des Comptes et des Finances (*voir* cinquième séance).

ment détérioré, ne présentait plus, en bien des points, des garanties de solidité suffisante, et avait en outre l'inconvénient d'entretenir dans la salle un état de saturation de l'air nuisible aux instruments. Cette réparation a été entreprise vers la fin de janvier, aussitôt que la saison a permis de faire des travaux de maçonnerie. Le vieux parquet ayant été enlevé, on a d'abord complètement évacué le sous-sol de la salle d'une quantité énorme de sable, de gravats et de débris de toutes sortes, dont il était resté encombré par l'incurie des premiers entrepreneurs. On a isolé aussi parfaitement que possible le pilier du baromètre normal. On a construit dans le fond de la salle, en face de la porte d'entrée, un nouveau pilier, en maçonnerie et ciment, pour placer la nouvelle balance de 5 kilogrammes, achetée par le Bureau. En outre, on a préparé, sur le côté gauche, entre les balances 1 et 3, une fondation pour monter éventuellement un nouveau pilier, dans le cas de l'acquisition projetée d'une autre balance de 20 kilogrammes. Ces divers travaux ont été exécutés sous ma direction, par le personnel ordinaire du Bureau, dans les conditions les plus économiques.

Le parquet, monté sur solives en fer et lambourdes de chêne, a dû être entièrement refait à neuf. Cette réparation a coûté 624<sup>fr.</sup> 72.

On a pu cependant utiliser quelques-unes des vieilles frises pour restaurer le parquet de la salle II, dont l'ouverture, pratiquée lors des expériences de pendule du commandant Defforges, était restée, depuis lors, provisoirement fermée par des planches grossières.

Dans l'escalier du caveau des prototypes, conformément à une proposition faite l'année dernière par M. le Dr Hirsch, et agréée par le Comité, j'ai fait construire, au commencement de novembre, au niveau du premier palier, une cloison avec une porte munie d'une serrure, qui reste constamment fermée. Le 5 janvier, je suis descendu avec MM. Chappuis et Guillaume dans le caveau, et j'ai ouvert l'armoire en fer contenant les prototypes pour y déposer : 1° un thermomètre de Tonnelot, à alcool et mercure, à deux index pour les maxima et les minima de température ; 2° un thermomètre Baudin n° 8568, gradué en cinquièmes sur tige émaillée. Les lectures du thermomètre métallique que contenait déjà le coffre-fort ont été les suivantes :

Température actuelle.....	8,0
» maxima.....	13,8
» minima.....	6,3

Un procès-verbal détaillé de cette visite a été dressé.

Il s'était donc produit, depuis la dernière ouverture du dépôt, une variation de température de 7 degrés environ. Bien que les froids exceptionnels de l'hiver dernier eussent à ce moment amené, déjà depuis assez longtemps, la partie supérieure de notre Observatoire à une température voisine de zéro, j'ai été surpris de constater qu'une aussi forte variation eût pu encore se produire, à la profondeur du dépôt des prototypes et malgré les cloisons isolantes successivement interposées entre le caveau et l'extérieur. En examinant les choses de près, j'ai découvert dans la partie la plus reculée du fond de l'escalier, très difficilement accessible, l'ouverture d'un tuyau d'aération qui monte de là jusqu'aux combles du bâtiment. Par cette ouverture se produisait un tirage sensible qui devait avoir pour effet de forcer l'air extérieur à rentrer par les joints des portes, et amener un renouvellement lent, mais continu, devant favoriser les variations de température. Un deuxième tuyau semblable existe de l'autre côté; mais il se perd dans l'épaisseur des murs du caveau; son orifice, s'il en a un, doit s'ouvrir soit dans la double paroi du caveau, soit au-dessous de son plancher; il a été impossible de le découvrir. J'ai fait alors boucher l'orifice du premier tuyau, et fermer, à tout hasard, le deuxième, en pratiquant une coupe dans un point supérieur de son parcours. Toutes les portes ont été refermées, et les choses laissées en l'état jusqu'au 10 avril, époque où j'ai fait une deuxième visite au dépôt. Le thermomètre Tonnélet a donné alors les indications suivantes :

Température actuelle.....	7,9 <sup>o</sup>
» maxima.....	9,0
» minima.....	6,8

L'écart du maximum au minimum est, cette fois, beaucoup moindre; mais il faut remarquer qu'on n'avait pas encore, à ce moment, passé par les températures élevées de l'été. On ne pourra constater l'efficacité des divers arrangements successivement introduits pour conserver les prototypes dans un état thermique aussi stable que possible, que par des visites périodiques suffisamment espacées et réparties sur une année entière.

La rigueur exceptionnelle et exceptionnellement prolongée de l'hiver dernier a été pour nous l'occasion de quelques dépenses imprévues dans les comptes *Entretien des bâtiments* et *Entretien des appareils fixes*, et en même temps la source d'ennuis et de difficultés nombreuses dans certains de nos travaux. Malgré tous nos

efforts, nous n'avons pu empêcher les conduites d'eau de notre Observatoire de geler, et il en est résulté de nombreux dégâts auxquels il a fallu ultérieurement remédier. En particulier, le compteur d'eau, placé dans l'une des salles du cabinet de Physique, a éclaté, malgré les précautions que nous avons essayé de prendre. L'achat d'un nouveau compteur, avec échange contre le vieux, dont la réparation était impossible, mais dont quelques pièces pouvaient encore être utilisées par le fabricant, a coûté 150<sup>fr.</sup> J'ai profité de l'occasion pour modifier l'emplacement et la disposition de ce compteur, de manière à être assuré de pouvoir, dans l'avenir, le mettre à l'abri de pareils accidents.

Pendant plusieurs semaines, en décembre et en janvier, nous avons été complètement privés d'eau au laboratoire, ce qui a entravé l'exécution des expériences à basses températures par le chlorure de méthyle, expériences qui exigeaient le fonctionnement continu d'une trompe à eau. Cette circonstance était d'autant plus regrettable que les conditions extérieures étaient précisément alors favorables à des travaux de cette nature.

Il y aurait lieu de prendre quelques mesures pour éviter le retour d'accidents semblables, dont nous avons déjà souffert, quoique à un moindre degré, pendant le rigoureux hiver de 1879-1880. J'ai déjà fait modifier quelques parties des conduites d'eau plus particulièrement exposées au refroidissement extérieur. J'ai fait monter, dans l'une des salles du cabinet de Physique, côté sud, l'un des grands poêles norvégiens, autrefois acquis par le D<sup>r</sup> Broch, et qui était inutilisé dans notre salle actuelle de calibrage, suffisamment chauffée par une bouche du calorifère général du pavillon. L'aménagement du deuxième grand poêle, placé dans le couloir de l'Observatoire, va être amélioré. Enfin, il serait peut-être utile de compléter ces dispositions, en installant dans quelques-unes de nos salles, sinon dans toutes, de petits poêles à gaz, ainsi que je l'ai fait dans la salle V. L'installation de ces appareils, avec une évacuation convenable des produits de la combustion, ne présente pas de très grandes difficultés. Ils tiennent peu de place, n'introduisent dans les salles ni poussière ni fumée, et ils sont suffisants pour permettre, avec une dépense assez modérée, de faire monter la température de quelques degrés. Ils pourraient, en outre, servir en tout temps à entretenir l'atmosphère de nos salles dans un état hygrométrique moins élevé, au grand avantage de certains appareils délicats qu'elles renferment.

### III. — Machines.

La réparation de notre moteur à gaz, c'est-à-dire l'alésage du cylindre et le changement du piston, a été exécutée peu après la dernière session du Comité. Cette réparation a coûté 207<sup>fr</sup>, 10 qui ont été payés en décembre dernier à la Compagnie Otto, et imputés sur le budget du précédent exercice.

### IV. — Instruments.

Le Comité se rappelle qu'une occasion s'offrit, l'année dernière, d'acheter à un prix exceptionnellement avantageux une balance de Rueprecht, de la portée de 5 kilogrammes. Je fus autorisé à faire cette acquisition, toutefois après avoir procédé à un examen de l'instrument.

Je me rendis effectivement, avec M. Guillaume, au laboratoire de M. Louguinine, où nous fîmes fonctionner la balance, qui nous parut en parfait état. Je la fis immédiatement transporter à Breteuil, où elle a été depuis installée sur le nouveau pilier qui a été, ainsi que je l'ai dit, construit dans la salle V. Elle est montée sur une charpente de fonte qui porte en même temps une cage fermée par des glaces, au-dessus de laquelle est placée la balance et qui permet de s'en servir comme d'une balance hydrostatique. La lecture des oscillations se fait par la réflexion d'une échelle divisée sur un miroir fixé au fléau, et dont l'image est reçue dans une lunette placée latéralement. Cette lunette n'est pas encore mise en place; mais toutes les pièces nécessaires pour le montage sont déjà faites.

La balance, avec tous ses accessoires, nous a été cédée pour le prix plus que modique de 700<sup>fr</sup>, qui a été payé au commencement de cette année.

Le thermomètre à gaz pour les températures basses a été complété, ainsi que je le dirai plus loin à propos des travaux exécutés cette année, et a servi pendant l'hiver à de nombreuses séries de mesures. Le récipient à chlorure de méthyle liquide, pouvant contenir 30 litres, a été livré en novembre par MM. Brigonnet et Naville, et a coûté 85<sup>fr</sup>, imputés encore sur l'exercice de l'année dernière. J'indiquerai tout à l'heure les dispositions, soigneusement étudiées par M. Chappuis, et adoptées par lui pour obtenir et maintenir des températures basses jusque vers  $-75^{\circ}$ . La partie manométrique de l'appareil, après avoir servi aux études en question pendant plusieurs mois, a encore subi récemment quelques modifications de détails, dont l'expérience avait montré l'utilité, en particulier pour améliorer

l'éclairage des ménisques mercuriels. Ces travaux de construction ont été exécutés dans notre atelier par notre mécanicien M. Huetz, sous la direction de M. Chappuis. L'ensemble des matières employées, fonte, bronze, etc., avec les lunettes et la verrerie, ont coûté à la date actuelle une somme totale de 509<sup>fr</sup>,20, sur lesquels 462<sup>fr</sup>,15 étaient déjà inscrits au budget de l'année dernière. Il reste encore quelques menus comptes à régler.

Nous avons laissé définitivement sur cet instrument la règle divisée de 1<sup>m</sup>,50, empruntée, comme je l'ai dit l'année dernière, à notre thermomètre à gaz principal. Il a paru préférable de faire construire pour ce dernier une nouvelle règle, en augmentant sensiblement les dimensions de la section adoptées pour la précédente. En outre, les essais que nous avons faits sur différents échantillons de bronzes contenant des proportions plus ou moins fortes d'aluminium, n'ayant pas donné, en se prolongeant, des résultats très satisfaisants quant à la conservation du poli des surfaces, nous n'avons pas cru pouvoir attendre plus longtemps pour demander à la Société genevoise cette nouvelle règle, qui nous était indispensable pour nos comparaisons barométriques, et nous nous sommes décidés à la faire tracer comme les précédentes sur lame d'argent, mais en incrustant celle-ci sur un support de bronze phosphoreux au lieu de laiton. La barre de bronze phosphoreux destinée à cet usage, très soigneusement recuite, a été fournie par les usines d'Anderlecht-lès-Bruxelles; la règle, à section en H, nous a été envoyée par la Société genevoise le 11 août, et M. Chappuis a immédiatement commencé à en faire la détermination au moyen du comparateur universel. Elle sera très prochainement fixée sur l'appareil manométrique.

A propos de cette règle, je rappelle que le Bureau fédéral des Poids et Mesures de Berne vient également de faire construire par la Société genevoise une nouvelle règle de 1 mètre en forme de H, en bronze phosphoreux, tracée sur lame d'argent incrustée, et dont la détermination a été demandée au Bureau international. Cette règle nous a été envoyée le 17 juillet. Les études qui vont être faites sur ces deux règles présenteront un certain intérêt et pourront sans doute conduire à quelques conclusions importantes. Du reste, nous nous proposons de faire encore des essais sur de nouveaux échantillons de bronzes, qui nous ont été récemment offerts et qui sont, mieux que les anciens, exempts d'impuretés.

Le Comité avait approuvé en principe, dans sa dernière session, la modification que je proposais d'introduire dans le baromètre normal de la salle V, modification dont l'objet était de rendre l'observation

de cet instrument plus facile et plus pratique, en y adaptant le mode de lecture des ménisques mercuriels qui, depuis bien des années nous a donné pleine satisfaction dans nos autres instruments barométriques et manométriques.

Ce mode consiste à amener la surface mercurielle à une petite distance d'une pointe fixe que l'on observe, en même temps que son image dans le mercure, au moyen d'un microscope. L'adaptation de ce procédé ne présentait pas de grandes difficultés pour le baromètre proprement dit : il suffisait, comme on l'a fait pour nos autres baromètres, de souder à l'intérieur de la chambre barométrique une pointe (de verre noir) au niveau de laquelle on fait constamment arriver la surface mercurielle au moyen d'un réservoir latéral en communication avec le baromètre; une deuxième pointe semblable, mobile sur une monture appropriée, peut venir de même affleurer la surface du mercure dans la branche qui communique avec l'atmosphère. Mais l'appareil, construit il y a plusieurs années par M. Marek, porte en outre le manomètre qui est destiné à être mis en relation avec la cage de la balance dans le vide et doit donner la pression de l'air dans cette cage. Ce manomètre doit donc pouvoir mesurer des pressions variables à volonté entre la pression barométrique et le vide complet, par conséquent dans une étendue de  $760^{\text{mm}}$ . De plus, la branche dite *ouverte* doit être en communication parfaitement étanche avec la cage de la balance. Ces deux conditions excluaient l'emploi d'une pointe mobile placée dans la branche ouverte. Pour tourner cette difficulté, on a constitué cette branche ouverte par un long tube, de section uniforme, à l'intérieur duquel on a soudé 6 pointes de verre noir, séparées l'une de l'autre par des distances de  $\frac{760^{\text{mm}}}{5} = 152^{\text{mm}}$ .

La branche *fermée*, au lieu d'être invariablement fixée à la charpente de l'instrument, plonge librement dans une cuvette profonde, qui communique par le bas avec la branche ouverte; elle est montée sur une coulisse, mobile le long d'une glissière verticale et qui permet de la déplacer à volonté dans une étendue un peu supérieure à  $152^{\text{mm}}$  (plus exactement à  $19^{\text{cm}}$  environ). De cette manière on peut, en plaçant la branche fermée à une hauteur convenable entre les deux limites des positions qu'elle peut prendre, et partant à volonté de l'une ou de l'autre des six pointes de la branche ouverte, obtenir, entre les deux branches, une différence de niveaux quelconque entre  $0^{\text{mm}}$  et  $760^{\text{mm}}$  et par conséquent mesurer toutes les pressions possibles entre ces deux limites. La distance de  $152^{\text{mm}}$  était imposée par les dimensions de la charpente déjà existante de l'appareil, que l'on ne

pouvait songer à modifier. Le mouvement de glissement du tube est obtenu par une vis très soignée et un engrenage. Un réservoir latéral permet d'introduire ou de retirer à volonté la quantité de mercure nécessaire dans chaque cas.

Le tube à six pointes a été construit avec une rare habileté, comme du reste toutes les autres pièces de verrerie de l'appareil, par M. Chabaud, successeur d'Alvergniat frères. Les pointes devaient être rigoureusement alignées, dans son axe, suivant une droite, pour se trouver toutes au point d'un même microscope, mobile, sur un cathétomètre vertical, et réglé sur la pointe de la branche fermée. Elles le sont en effet, à très peu près ; et pour compenser les très petites irrégularités qu'il était impossible de ne pas laisser dans cet ajustement, le tube est monté en haut sur une petite pièce coulissante, qui lui permet un léger déplacement d'avant en arrière. Toutes les pièces métalliques ont été construites, d'après mes dessins, dans notre atelier, par notre mécanicien. Le remplissage des tubes, avec ébullition du mercure sous le vide, a été fait par M. Chappuis et moi. L'instrument est aujourd'hui remonté et il ne reste qu'à fixer définitivement les pièces destinées à porter les miroirs d'éclairage et les thermomètres. Les membres du Comité pourront se convaincre que la modification a parfaitement atteint le but qu'on s'était proposé ; les trépidations du mercure sont insensibles et les lectures ne présentent plus aucune difficulté.

Il nous a paru utile, à l'occasion de la revision de cet appareil, et avant de recommencer les comparaisons barométriques qui figurent depuis longtemps dans notre programme, de faire encore subir au baromètre normal n° 1, désigné dans nos cahiers sous le nom de *baromètre Wild-Pernet*, une légère modification, ayant pour but de mettre les deux branches, ouverte et fermée, dans une même verticale. Ce changement dans la disposition des tubes a, en effet, été introduit, ce qui a naturellement obligé à un nouveau remplissage. L'appareil est aujourd'hui entièrement remonté.

Ainsi, nous nous trouvons actuellement en possession de *trois baromètres normaux*, qui paraissent tous les trois montés dans les conditions les plus satisfaisantes, et de façon à assurer aux mesures le plus haut degré possible de précision. M. Chappuis possède en outre personnellement un baromètre à gros tube, construit par lui il y a quelques années, qui peut être employé comme baromètre transportable et qui est à notre disposition. Il semble donc que, avec ces éléments, le Bureau est désormais monté de manière à pouvoir procéder à des comparaisons barométriques très précises, et vider

définitivement cette question, pendante depuis longtemps et pour laquelle les résultats obtenus ont été jusqu'à présent assez peu concluants.

A propos de baromètres, j'indiquerai encore que j'ai monté, dans la salle II, une petite installation pour les comparaisons des baromètres ordinaires de troisième ou quatrième ordre, dont la précision est encore suffisante pour qu'il soit avantageux de les employer dans certaines applications, de préférence aux instruments dont l'observation est plus longue et plus compliquée. J'ai utilisé, à cet effet, le pilier qui avait servi à supporter les horloges du commandant Deforges, dans ses opérations de pendule.

Comme intermédiaires entre ces instruments relativement grossiers et nos baromètres normaux, le Bureau possède encore le baromètre transportable Wild-Fuss, actuellement installé dans la salle VI, et le baromètre auxiliaire n° 3, fixé à demeure sur l'un des piliers de la salle III. Celui-ci, autrefois construit au Bureau, est un baromètre à siphon, à tube étroit mais à lectures micrométriques. Pressé par le temps, on avait laissé jusqu'à présent les ajustements accessoires de cet instrument, pour l'éclairage des ménisques et de la règle, dans une condition provisoire trop rudimentaire; tout récemment, M. Guillaume, à qui cet instrument, constamment employé dans les études thermométriques, est plus particulièrement attribué, a fait reconstruire par M. Huetz ces diverses pièces d'une manière définitive.

Je dois encore mentionner à la fin de ce Chapitre, comme un nouveau perfectionnement de notre outillage mécanique, l'achat du tour de précision dont l'acquisition a été décidée l'année dernière par le Comité. Ce tour, construit sur commande par MM. Strube à Paris, dans les meilleures conditions de solidité et d'ajustement, a été installé dans notre atelier en mars dernier. Il a coûté 1100<sup>fr</sup>. Il nous a rendu déjà de nombreux services, et il est certainement destiné à nous en rendre de plus grands encore dans l'avenir.

Enfin, je ne puis quitter le chapitre des instruments sans faire remarquer que les études que M. Guillaume a entreprises, par décision du Comité, sur la mesure des températures par les procédés électriques, eussent nécessité l'achat d'appareils nombreux et coûteux, si M. Carpentier, constructeur à Paris, ne nous était venu en aide, de la façon la plus obligeante et la plus effective, en nous les prêtant généreusement pour une période de temps indéfinie. C'est ainsi que, au pont de Wheatstone qu'il avait déjà mis, il y a quelques années, à ma disposition, et qu'il a entièrement révisé, il a ajouté encore récemment 4 boîtes de résistance, parfaitement ajustées.

## VI. — Travaux.

Les travaux relatifs aux nouveaux mètres prototypes ne sont pas aussi avancés qu'on aurait pu l'espérer, par suite des retards qui se sont produits dans la construction de ces mètres. Le premier mètre à traits a été livré par le Conservatoire au Bureau international le 13 juin dernier, le deuxième le 17 juin; enfin, neuf autres règles, nouvellement tracées, m'ont été remises le 4 juillet, en même temps que notre règle type III en X. On se souvient que le Comité avait décidé de faire effacer le tracé primitif de cette règle, exécuté par MM. Starke et Kammerer, qui n'était pas très satisfaisant, et de demander à la Section française de faire un nouveau tracé, sur mouches polies spéculairement, et semblable à celui des autres prototypes.

L'époque tardive de ces livraisons ne permettait pas d'achever, avant la session actuelle, les travaux de détermination de ces règles. Toutefois, on a pu déjà en faire une partie importante. Sur les 11 règles en alliage de 1874, livrées par le Conservatoire, on a d'abord procédé à un choix, en conservant, pour satisfaire aux demandes actuellement faites, les 8 règles qui ont paru les plus satisfaisantes, tant au point de vue de l'ensemble de la barre qu'à celui de la beauté du poli et de la perfection des tracés. Immédiatement après, M. Guillaume a commencé à faire la mesure des dilatations de ces 8 règles, en continuant à appliquer exactement les mêmes procédés qui ont été autrefois employés pour les prototypes déjà distribués. Grâce à un travail assidu et ininterrompu, ces opérations sont aujourd'hui terminées. Il reste à faire maintenant les comparaisons de ces règles entre elles et avec le prototype, ainsi que la mesure des intervalles auxiliaires.

A propos des prototypes, je dois signaler deux faits importants, accomplis dans le courant de cette année. A la suite d'une correspondance, qui est reproduite dans le *Quatorzième Rapport*, avec la Légation du Mexique à Paris, M. Ramon Fernandez, Ministre du Mexique, accompagné de M. Gustavo Baz, Secrétaire de la Légation, est venu à Breteuil le 4 avril dernier, pour procéder au tirage au sort du kilogramme prototype destiné à son Gouvernement. Sur les 8 kilogrammes disponibles à ce moment, le sort a désigné le n° 21. En conséquence, ce kilogramme a été attribué au Gouvernement fédéral des États-Unis Mexicains, et réservé pour être remis ultérieurement à son Représentant. Il est actuellement encore à Breteuil.

Tout récemment, M. Hépitès, Directeur de l'Institut météorologique et du Service central des Poids et Mesures de Roumanie, a été délégué par son Gouvernement pour venir, de même, retirer le kilogramme prototype que celui-ci avait demandé. Le tirage au sort a eu lieu le 8 septembre. suivant les mêmes formes, et, sur les 7 kilogrammes restants, il a attribué à la Roumanie le kilogramme n° 2. Ce prototype a été immédiatement emballé et remis à M. Hépitès, qui en a pris livraison pour le transporter à Bucharest, ainsi que des deux thermomètres destinés à accompagner le mètre à traits également commandé par la Roumanie et qui lui sera remis ultérieurement. Des procès-verbaux de ces deux opérations ont été dressés en double exemplaire.

Je puis ajouter que les deux thermomètres destinés à accompagner le mètre remis l'an dernier au Gouvernement de Finlande, et qui étaient restés à Breteuil pour quelques études complémentaires, ont été envoyés à la Direction des Poids et Mesures de Finlande, à Helsingfors, par l'intermédiaire de M. Tonnelot, au mois de juin dernier.

Enfin, M. Mialko Tchiritch, professeur à la Faculté des Sciences de Belgrade, a été délégué par son Gouvernement pour retirer les prototypes échus par le sort à la Serbie, lors de la Conférence de 1889. Ces prototypes lui ont été remis, avec tous les accessoires, le 16 août dernier.

Les études scientifiques dont je me suis occupé personnellement se rapportent, en premier lieu, aux toises historiques allemandes désignées sous les noms de *Toise de Bessel* et de *Toise n° 9*, de l'Institut topographique de Prusse. Je rappelle que j'avais déjà fait, l'année dernière, sur ces Toises une série de déterminations dont j'ai rendu compte dans mon précédent rapport. Elles devaient être complétées cette année par des expériences plus spécialement destinées aux mesures de dilatation. En outre, M. le professeur Helmert, à qui j'avais communiqué les premiers résultats obtenus, me demanda, par lettre du 26 novembre dernier, de faire quelques essais en vue d'élucider les points suivants :

1° La courbure sensible que prend la Toise de Bessel, lorsqu'on la pose sur sa tranche, ne pourrait-elle pas empêcher cette toise, mise à plat, d'appuyer exactement sur le support plan sur lequel on la place et modifier sa longueur?

2° Un petit déplacement dans le point de contact des palpeurs, par

l'intermédiaire desquels sont faites les comparaisons, a-t-il une influence sensible sur les résultats obtenus ?

3° Enfin, M. Helmert demandait de faire quelques comparaisons directes entre la Toise de Bessel et la Toise n° 9.

Les diverses parties de ce programme ont été exécutées. Les expériences faites sur l'influence de la flexion possible de la Toise de Bessel, posée sur le banc du comparateur et chargée et déchargée alternativement d'un poids de 5<sup>kg</sup> en son milieu, ont donné un résultat complètement négatif.

Il n'en est pas de même du deuxième point. Un déplacement du point de contact des palpeurs sur les surfaces terminales, de quelques dixièmes de millimètre, a suffi pour produire des variations de 2 à 3<sup>μ</sup>, assez systématiquement obtenues, dans une série prolongée d'essais, pour que leur réalité ne soit pas contestable. La même expérience, faite sur la Toise n° 9, a conduit, au contraire, à des résultats négatifs. Cette différence me paraît s'expliquer très naturellement par l'état des surfaces terminales de ces deux règles. Celles de la Toise n° 9 possèdent un poli à peu près spéculaire et une planimétrie presque parfaite. En appliquant sur elles un plan de verre on donne naissance à des anneaux de Newton très réguliers, indiquant du centre au bord une courbure qui n'excède pas quelques dixièmes de micron. L'une des faces présente pourtant un petit trou, bien marqué et assez profond, mais assez éloigné du milieu pour qu'il ne puisse guère intervenir dans les mesures de la longueur de la règle. Les faces terminales de la Toise de Bessel sont très loin de présenter les mêmes caractères; elles ne donnent aucune trace de franges, elles présentent des taches bien visibles et, en certains points, des traces marquées des opérations de mesure auxquelles la règle a été autrefois employée. Les diverses particularités de ces deux règles ont été d'ailleurs très soigneusement examinées avant leur envoi à Breteuil et consignées dans deux procès-verbaux signés de MM. Peters, Helmert et Albrecht d'une part, et de MM. Schreiber et Morsbach d'autre part. Après la terminaison de toutes les études qui ont été faites sur elles à Breteuil, j'ai procédé à un nouvel examen et constaté que les deux toises étaient exactement dans le même état qu'au moment de leur remise, malgré les très nombreuses attaques par les pièces de contact qu'elles ont subies dans le cours de ces travaux.

En avril-mai 1891, j'ai fait une série de comparaisons dans lesquelles j'ai fait intervenir en même temps la Toise de Bessel, la Toise n° 9 et la Règle-étalon de 2<sup>m</sup> de notre comparateur universel. Ces

études ont été faites exactement de la même manière que celles de l'an dernier, avec les mêmes pièces de contact, dont les constantes ont été déterminées à nouveau.

Pour la mesure de la dilatation des deux toises, j'ai tracé au diamant sur chacune d'elles, avec l'autorisation de M. Helmert, deux traits fins, près des extrémités; la distance de ces traits a été mesurée par 24 séries de comparaisons avec la Règle-étalon du comparateur, séries qui ont été faites en trois périodes distinctes, à des températures comprises entre  $1^{\circ},4$  et  $18^{\circ},5$  environ.

Enfin, il m'a paru qu'il y aurait un véritable intérêt à profiter de la présence momentanée à Breteuil de la Toise de Bessel pour faire une comparaison directe entre cette Toise et la Toise du Pérou, qui, ainsi que le Comité se le rappelle, a déjà été l'objet d'une première série d'études de notre part en 1887. Cette comparaison devait constituer un contrôle précieux des déterminations, tant anciennes que nouvelles, et, en fermant le cercle des mesures faites sur ces deux règles historiques, permettre de se faire une idée plus nette des limites d'exactitude que comportent ces étalons.

En conséquence, je me suis adressé à M. l'Amiral Mouchez, Directeur de l'Observatoire de Paris, qui a bien voulu remettre encore entre mes mains la Toise du Pérou. En juin-juillet, j'ai procédé à une longue série de comparaisons entre cette Toise, la Toise de Bessel et la Règle-étalon de notre comparateur. Je me suis servi encore, dans ces nouvelles études, des mêmes pièces de contact qui avaient été construites autrefois dans ce but; seulement elles avaient souffert sensiblement de la rouille et j'ai été obligé de les retoucher légèrement.

Je donnerai, dans un petit rapport spécial, les résultats de toutes ces études, dont l'ensemble ne compte pas moins de deux cent quatre-vingt-quatre séries de comparaisons, soit entre les toises combinées deux à deux, ou une à une, avec la Règle-étalon du comparateur, soit pour les mesures de leurs dilatations, soit pour les déterminations des constantes des appareils de contact, le tout faisant partie d'un schéma régulier et systématique.

J'avais encore, dans le programme des travaux de l'année, un nouvel étalonnage de la règle bimétallique de l'appareil de bases de l'Institut géodésique prussien, après que cette règle, dont les premières déterminations avaient présenté certaines irrégularités anormales, aurait été revisée par son constructeur. A la demande de M. Helmert et de moi-même, M. Émile Brunner a bien voulu venir à Breteuil dans ce but, le 13 juin dernier, et il a procédé à un exa-

men minutieux de la règle et au nettoyage des rouleaux de support.

J'ai ensuite fait l'étalonnage en employant comme règle de comparaison le Prototype n° 26, qui est devenu l'étalon principal du Bureau, après le tirage au sort de 1889. Cette opération a été faite exactement de la même manière qu'autrefois, en comparant successivement chacune des quatre sections de la règle de platine de l'appareil bimétallique au prototype. Chaque comparaison était répétée deux fois à quelques heures de distance. Après avoir ainsi comparé successivement les Mètres 1, 2, 3 et 4, on a recommencé en sens inverse, en retournant bout pour bout le mètre prototype. Toutes ces opérations ont été faites en double par M. Guillaume et par moi, en sorte que l'étalonnage entier est basé sur trente-deux séries de comparaisons exécutées par moitié par deux observateurs indépendants.

En outre, nous avons déterminé ensuite la différence des règles platine et laiton de l'appareil bimétallique par six séries de comparaisons, et enfin mesuré les quatre derniers millimètres, à chacune des extrémités, des divisions de la règle de laiton. Les calculs de ces diverses mesures ne sont pas encore terminés.

J'ai consacré, cette année, une partie importante de mon temps à la section des pesées. Les travaux de réparation exécutés dans la salle V ont été l'occasion d'un examen et d'un nettoyage de nos principales balances. J'ai pu malheureusement constater qu'elles ont toutes plus ou moins souffert de l'humidité. Des taches de rouille sont visibles en bien des points sur les pièces d'acier, et il y aurait peut-être lieu de commencer bientôt à procéder à une revision graduelle de ces beaux instruments qui, du reste, ont fait déjà, pour la plupart, de longues années de service sans avoir encore été retouchés. Cette revision devrait naturellement être demandée à M. Rueprecht; on pourrait la faire porter successivement sur celles des balances qui paraissent en avoir le plus besoin, de manière à n'interrompre jamais le service et à ne mettre obstacle à aucun travail nécessaire. Enfin, comme je l'ai dit plus haut, il serait possible, dans l'avenir, de prendre plus de précautions pour mettre ces appareils mieux à l'abri de cette cause de détérioration.

J'ai eu à faire dans cette section :

1° La détermination d'un kilogramme en laiton doré, appartenant à MM. Herzberg et Kuhlmann, successeurs de M. Bunge, à Hambourg;

2° La détermination de 2 pièces (1<sup>re</sup> et 0<sup>re</sup>, 01 en platine) appartenant à M. Curie, préparateur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris;

3° L'étalonnage d'une série de poids, en platine iridié (22 pièces), construite par M. Collot, et appartenant à M. Louguinine;

4° L'étalonnage d'une autre série de poids, en quartz (13 pièces), construite par M. Stern, à Oberstein, et appartenant à M. Hagenbach, de Bâle.

Ces deux étalonnages constituent un long travail, au cours duquel j'ai pu étudier le fonctionnement de nos petites balances Rueprecht n<sup>os</sup> 2, 3 et 4. Les opérations faites sur la balance n<sup>o</sup> 3 n'ont pas marché d'une façon très satisfaisante, sans que j'aie pu découvrir la cause de ces difficultés. Dans le cas où la proposition de faire reviser nos balances par M. Rueprecht serait agréée par le Comité, je crois que c'est par celle-ci qu'il conviendrait de commencer.

#### TRAVAUX DE M. LE D<sup>r</sup> CHAPPUIS.

M. le D<sup>r</sup> Chappuis s'est occupé, depuis la dernière session du Comité, en premier lieu, de la préparation des appareils nécessaires à l'obtention des températures basses, dans lesquelles les thermomètres à toluène et à alcool devaient être comparés aux thermomètres à hydrogène. Après quelques essais, dans le cours desquels il a eu l'avantage d'appliquer les perfectionnements introduits par M. Cailletet dans l'instrument désigné par lui sous le nom de *cryogène*, M. Chappuis a fait construire un appareil qui permet d'utiliser la détente de l'acide carbonique pour la production du froid et le maintien, pendant un temps prolongé, de températures très basses, avec une constance suffisante.

Cet appareil consiste essentiellement en une cloche de cuivre à double paroi dont la cavité, tournée vers le haut et remplie d'alcool, reçoit les thermomètres que l'on veut comparer entre eux.

L'espace annulaire compris entre les parois de la cloche peut être mis en communication, au moyen d'un robinet à pointeau et d'un tube de cuivre, avec une bouteille d'acide carbonique liquide. Deux autres robinets à pointeau, soudés à la partie supérieure de la cloche, permettent aux gaz de s'échapper librement dans l'atmosphère. Lorsqu'on ouvre légèrement le robinet de détente, l'acide carbonique qui remplit le tube d'accès vient se volatiliser à l'orifice du robinet à pointeau situé au centre de l'appareil, et y produit un refroidissement intense qui se communique peu à peu à l'alcool qui baigne les thermomètres. En ouvrant plus ou moins le robinet de détente, on peut aisément atteindre la température à laquelle on veut opérer et la

maintenir le temps nécessaire pour les mesures. La détente de l'acide carbonique a permis à M. Chappuis d'obtenir des températures suffisamment constantes entre les limites de  $-45^{\circ}$  à  $-75^{\circ}$ .

Pour les températures comprises entre  $0^{\circ}$  et  $-40^{\circ}$ , il s'est servi du chlorure de méthyle qui bout à  $-23^{\circ}$  sous la pression atmosphérique, mais dont on peut faire varier suffisamment la température d'ébullition en variant convenablement la pression.

Des soins particuliers ont été donnés à l'isolation thermique de la cloche de cuivre qui repose sur un bâti de fonte permettant un déplacement vertical. Cette cloche était entourée de trois cylindres de verre mince, laissant entre eux des espaces annulaires de  $1^{\text{cm}},5$  environ que l'on a remplis de plusieurs couches de feutre épais. La lecture des thermomètres se fait à travers la partie supérieure, non recouverte de feutre, de ces cylindres, entre lesquels on a placé de petits fragments de chlorure de calcium dans du papier buvard, afin de maintenir l'air sec et d'éviter ainsi la formation de buée sur le verre. L'appareil est fermé à sa partie supérieure par deux couvercles garnis de feutre, que traversent les tiges des thermomètres et celle de l'agitateur. La disposition des couvercles ne permettant pas de placer plus de 4 thermomètres autour du réservoir du thermomètre à gaz, M. Chappuis a comparé ceux-ci par groupes. Le premier groupe comprenait les deux thermomètres à toluène n° 4771 et n° 4773 et les deux thermomètres à alcool n° 4772 et n° 4774, et le second groupe, le thermomètre Baudin à alcool appartenant à M. Wild et le thermomètre anglais qui a malheureusement été brisé dans le cours des expériences.

On s'est assuré à plusieurs reprises que le thermomètre à gaz fonctionnait régulièrement pendant les expériences, en observant la pression à zéro, qui n'a présenté d'ailleurs aucune variation sensible, et en répétant à la fin des mesures la détermination fondamentale des constantes relatives aux repères de l'échelle. Dans les mesures faites à l'aide de l'acide carbonique, M. Chappuis a été secondé par M. Ozenne qui était chargé de la lecture des thermomètres à toluène et à alcool.

En ajoutant à ces expériences celles qui avaient été précédemment faites au-dessus de  $0^{\circ}$ , la relation des échelles comparées a été ainsi établie, par 48 séries de comparaisons, à des températures à peu près régulièrement réparties, entre  $+35^{\circ}$  et  $-74^{\circ}$  environ.

La forme sous laquelle se présentent les résultats de ces études, je veux dire la grandeur absolue des corrections des échelles à alcool et à toluène par rapport à l'échelle normale à hydrogène, varie

naturellement suivant ce que l'on adopte comme représentant le *degré* sur les deux premières échelles. Pour le thermomètre à toluène, il est naturel de déduire ce degré de l'intervalle 0.100; l'intervalle fondamental se trouve ainsi déterminé directement, sans obliger à recourir à l'intermédiaire d'un autre thermomètre. Pour le thermomètre à alcool, il faut nécessairement adopter une autre définition, plus arbitraire, et déduire le degré moyen de comparaisons faites à zéro et à 30° par exemple. Dans ces conditions, les dilatations des deux liquides variant notablement avec la température, il est évident que les corrections du thermomètre à toluène devront être exprimées par des nombres plus forts que ceux du thermomètre à alcool; il est clair que ces divergences n'ont aucune importance et ne préjugent rien en faveur de l'une ou de l'autre échelle.

Les résultats des expériences de M. Chappuis ainsi calculés, et toutes réductions faites, sont reproduits dans les Tableaux que je place sous les yeux du Comité. On y constate que les indications des deux thermomètres à alcool employés sont restées, dans toute l'étendue de l'échelle, identiques entre elles, à quelques centièmes de degré près, c'est-à-dire avec une concordance inespérée. Pour les deux thermomètres à toluène, il paraît y avoir une différence de marche, très petite, mais assez systématiquement établie pour qu'on puisse la considérer comme bien réelle; elle atteindrait près de un dixième de degré aux températures les plus basses. Toutefois, il convient de dire que, dans ces deux thermomètres, il existe quelques petites différences de construction qui, ajoutées aux incertitudes existant sur quelques-unes de leurs constantes caractéristiques, peuvent expliquer cette divergence. C'est ainsi que les réservoirs terminaux des deux tiges ont, dans l'un et l'autre, des capacités très différentes; il en résulte que la pression intérieure (ces thermomètres étant nécessairement pleins d'air) varie très différemment lorsque, par les changements de température, la colonne liquide remplit plus ou moins le volume intérieur des thermomètres. La compressibilité du liquide est assez grande pour que cet effet soit loin d'être négligeable. Il nous a été impossible d'en tenir compte exactement, parce que nous n'avions que des valeurs approximatives des dimensions des réservoirs respectifs, aussi bien que des pressions absolues initiales dans les deux thermomètres. Nous avons aussi quelques raisons de penser que le toluène introduit dans l'un des thermomètres a été un peu moins bien privé d'eau que celui de l'autre.

Nous pouvons donc admettre que la très petite divergence constatée est due à des causes que l'on peut faire disparaître dans d'autres in-

struments et ne constitue pas, jusqu'à présent, un motif pour abandonner comme liquide thermométrique une substance qui, à plusieurs égards, présente des avantages sensibles. Il y a lieu, à notre avis, de continuer les études comparatives sur les thermomètres à alcool et à toluène, en introduisant dans notre manière d'opérer, pour l'étude et la construction de ces instruments, quelques modifications sur un certain nombre de points secondaires, mais non sans importance, sur lesquels les études passées ont attiré plus spécialement notre attention. Dans ce but il serait utile de se procurer quelques nouveaux thermomètres de l'un et de l'autre type et de recommencer de nouvelles séries de comparaisons. Comme il faut toujours un temps assez long au constructeur pour fournir ces appareils, et comme la saison d'hiver est la plus favorable à ces expériences, sinon la seule dans laquelle elles puissent être exécutées, il nous a paru nécessaire de ne pas attendre la présente réunion du Comité pour commander les nouveaux instruments en question. D'accord avec M. le Secrétaire, j'ai commandé à M. Tonnelot 6 nouveaux tubes dont une partie sont déjà livrés et même étudiés. Ils seront, le plus tôt possible, employés à de nouvelles déterminations.

Les résultats obtenus par M. Chappuis sur le thermomètre de M. Wild montrent que les thermomètres à alcool construits par Baudin s'écartent à  $-73^{\circ},5$  de près de 6 degrés de la température normale.

Pendant la construction de l'appareil à basses températures et dans l'intervalle des mesures que je viens de résumer, M. Chappuis a déterminé la dilatation apparente du mercure dans le verre dur. Cette étude devait servir de complément à notre connaissance du thermomètre à mercure et fournir de plus une vérification de la dilatation absolue du mercure entre  $0^{\circ}$  et  $100^{\circ}$ , déterminée par Regnault.

Le réservoir du thermomètre à poids, qui a servi à cette détermination, était constitué par le tube même, dont M. Chappuis avait mesuré la dilatation linéaire au comparateur entre  $0^{\circ}$  et  $100^{\circ}$  <sup>(1)</sup> et qui doit être utilisé plus tard comme réservoir du thermomètre à gaz aux températures élevées. Sa capacité, déterminée avec soin par deux jaugeages au mercure, a été trouvée égale à  $963^{\text{mm}},013$ . A l'une de ses extrémités ce réservoir a été soudé à un tube capillaire gradué, jaugé et calibré.

Ce réservoir, rempli de mercure sous le vide, a été placé horizon-

---

(<sup>1</sup>) *Procès-Verbaux des seances de 1890*, p. 22.

talement dans l'auge du thermomètre à gaz de manière que le tube capillaire, recourbé à son extrémité, plongeât dans une coupe remplie de mercure pesé. A chaque température correspond alors, dans cette coupe, un certain poids de mercure qu'on évalue directement par la pesée. Mais comme il est difficile de connaître la température du réservoir au moment précis où l'on enlève la coupe pour la peser, il a paru avantageux de laisser rentrer le mercure dans la partie divisée du tube capillaire en abaissant légèrement la température du bain et d'observer, par des séries complètes de lectures, le volume occupé par le mercure restant dans le réservoir. On lisait à cet effet alternativement les quatre thermomètres étalons placés symétriquement autour du réservoir et la position du mercure dans le tube capillaire. Chaque série comprenait au moins dix observations. M. Chappuis a opéré de cette façon de 5 en 5 degrés entre 0° et 45°, et à 100° par quatre séries, en ayant soin de reprendre de temps en temps le zéro pour le contrôle des résultats.

Ses expériences l'ont conduit à la formule suivante, qui représente la dilatation apparente du mercure dans le verre dur,

$$V_T = V_0 [1 + (160\ 207T - 26,916T^2 + 0,16921T^3) 10^{-9}],$$

d'où l'on déduit pour la dilatation absolue du mercure

$$v_T = v_0 [1 + (182\ 008T - 11,3804T^2 + 0,16921T^3) 10^{-9}].$$

Si l'on compare les valeurs données par cette expression à celles que le D<sup>r</sup> Broch a tirées des observations de Regnault, on voit, comme l'indique le Tableau ci-après, que les différences entre ces valeurs sont minimales jusqu'à 50°. Elles atteignent, par exemple, pour la correction d'une colonne de 1<sup>m</sup> de mercure à 50°, à peine 2 microns. A 100° l'écart est un peu plus fort et équivaldrait, dans l'exemple cité, à 40 microns.

*Corrections de réduction à zéro d'une colonne de mercure de 1 mètre.*

Température.	Chappuis.	Regnault.	Chappuis — Regnault.
°	mm	mm	μ
10.....	1,8192	1,8180	+ 1,2
20.....	3,6369	3,6362	+ 0,7
30.....	5,4546	5,4549	— 0,3
40.....	7,2729	7,2742	— 1,3
50.....	9,0930	9,0944	— 1,4
.....	.....	.....	.....
100.....	18,2562	18,2161	+40,1

La dilatation apparente du mercure dans le verre peut aussi être déduite d'une autre manière en prenant pour point de départ la dilatation totale entre 0° et 100°, déterminée comme on vient de le voir et en utilisant, pour les températures intermédiaires, les résultats des comparaisons si complètes effectuées entre le thermomètre à mercure en verre dur et l'échelle normale (thermomètre à hydrogène).

De cette façon M. Chappuis a obtenu pour la dilatation absolue du mercure une fonction à quatre termes

$$v_T = v_0 [1 + (181646T + 1,1201T^2 + 0,10078T^3 - 0,0002039T^4) 10^{-9}],$$

qui ne présente par rapport à l'autre que de faibles différences et qui s'écarte aussi très peu des valeurs de Regnault.

Le résultat de ces recherches est donc une confirmation remarquable des mesures exécutées par l'illustre physicien.

Après ces mesures, M. Chappuis a fait une série analogue d'expériences sur la dilatation de l'eau, dont il est si important de connaître exactement la densité à différentes températures, en vue des travaux en préparation sur la masse du décimètre cube d'eau à 4°. Les expériences de M. Chappuis confirment les résultats de MM. Marek et Thiesen, obtenus par la méthode des pesées hydrostatiques. Suivant les recherches de ces savants, la Table des densités de l'eau, publiée par le Dr Broch dans le Tome I des *Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures*, aurait à subir de petites corrections indiquées ci-après en regard des corrections trouvées par M. Chappuis.

*Corrections exprimées en unités de la sixième décimale.*

Température normale. T <sub>n</sub>	Chappuis.	Thiesen.	Marek.
0.....	— 15	— 12	— 19
1.....	— 9	»	— 12
2.....	— 5	— 2	— 6
3.....	— 2	»	— 3
4.....	0	»	0
5.....	0	»	+ 1
6.....	0	0	+ 2
7.....	— 1	»	+ 1
8.....	— 3	— 2	— 1

Température normale.	$T_H$	Chappuis.	Thiesen.	Marek.
9°.....		— 6	»	— 3
10.....		— 9	»	— 5
.....		....	....	....
15.....		—25	—19	—17
20.....		—29	—29	—16

Dans le cours des études commencées sur le thermomètre à toluène, on a reconnu, ainsi que je l'ai dit, la nécessité de tenir compte de la compressibilité de ce liquide. Comme on ne possédait pas de données précises sur ce sujet, M. Chappuis a déterminé cette compressibilité par des pressions variant entre une et deux atmosphères. Il a trouvé, pour la compressibilité de ce liquide à 19°, 6 :

soit  $0,0944 \times 10^{-6}$  par millimètre de mercure,  
 $71,7 \times 10^{-6}$  par atmosphère.

J'ai déjà dit plus haut que M. Chappuis m'avait, en outre, prêté son concours dans les travaux de remplissage et de remontage de nos baromètres normaux.

Enfin, j'ajoute qu'il a fait fonction de Directeur pendant mon absence, au mois d'août dernier.

#### TRAVAUX DE M. GUILLAUME, DEUXIÈME ADJOINT.

Comme par le passé, M. Guillaume a partagé son temps entre la section de Thermométrie, dont il continue à diriger les travaux, et la section des Mesures de longueur. Dans celle-ci il a répété, après moi, l'étalonnage de la Règle géodésique de Prusse, et déterminé les trois premiers mètres de deux règles, dont l'étude nous a été demandée au nom des Bureaux centraux des Nivellements de précision français et belge. Enfin, comme je l'ai dit plus haut, il a mesuré la dilatation des huit règles en alliage de 1874, qui ont été livrées à partir du 7 juillet. Ce travail terminé, il s'est occupé, avec M. Huetz, de la remise en état du comparateur à dilatation, que les quelques centaines de séries d'expériences exécutées sur cet instrument avaient sérieusement altéré. On en a profité pour refaire les supports des lampes à incandescence, et monter, sur la caisse qui protège les

pilliers, des loupes pour la lecture des micromètres. Ce travail a été mené de front avec la construction des pièces d'éclairage destinées au baromètre auxiliaire n° 3 dont j'ai déjà parlé.

Les travaux courants de la section de Thermométrie ont continué très régulièrement; depuis la dernière session du Comité, cette section a exécuté les études énumérées ci-après :

1° Pour le Bureau : 1 thermomètre (n° 4855), qui doit être rempli de toluène; 2 thermomètres Alvergniat (n°s 24059 et 24067), que le Bureau possède depuis plusieurs années, et qui peuvent rendre des services pour les expériences de moyenne précision. Nous mettrons à l'étude, quand nous en trouverons le temps, un certain nombre de thermomètres du même genre, qui ont été achetés autrefois.

2° Pour les États : 4 thermomètres (n°s 4737, 4739, 4740, 4741), destinés à accompagner les nouveaux mètres.

3° Pour divers Établissements scientifiques, savants ou constructeurs, 19 thermomètres, savoir :

7 thermomètres à échelle entière (n°s 4642, 4842-43-44, 4867, 4868, 4869); 1 thermomètre à une ampoule, échelle [0.50] (n° 4900); 2 thermomètres avec échelle [50.100] (n°s 4826-4827); 5 thermomètres avec échelle [-30 +40] (n°s 4828-29, 4861-65-66); 1 thermomètre avec échelle [100.200] (n° 4903); 3 thermomètres à deux ampoules (n°s 4832-33-35); soit un total de 26 thermomètres étudiés dans l'année.

Il reste encore au Bureau 6 thermomètres destinés aux États et qui n'ont pas été affectés; ils serviront à accompagner les mètres à bouts de l'Autriche et de la Bavière et le mètre à traits du Mexique. Si de nouvelles demandes sont prévues, il serait bon de commander le plus tôt possible un nombre suffisant de thermomètres, afin d'éviter tout retard.

Nous constatons du reste avec plaisir que M. Tonnelot a mis beaucoup plus de célérité que par le passé à exécuter les commandes; il a toujours en cours de construction un certain nombre de thermomètres des modèles courants et, pour ces derniers, nous pouvons généralement être assurés d'une prompte livraison.

Ainsi que je l'ai dit tout à l'heure, les deux thermomètres à toluène déjà étudiés ont présenté, aux températures basses, une légère divergence, dont les différences de forme et de grandeur de ces thermomètres semblent pouvoir donner l'explication; toutefois, il était désirable de mettre ce fait hors de doute. C'est pourquoi nous avons commandé une série de 6 thermomètres, dont 3 se-

ront remplis avec de l'alcool et 3 avec du toluène, aussi parfaitement purifié que possible; et qui seront comparés au thermomètre à gaz. Une détermination exacte de toutes les constantes de ces instruments, et en particulier un jaugeage des chambres supérieures, nous donnera les éléments de réduction qui nous permettront de calculer *a priori* leurs corrections complètes. Un de ces thermomètres nous a été livré en juillet et mis immédiatement à l'étude. Six autres (dont plusieurs nous ont été demandés par divers établissements) nous sont parvenus seulement ce matin. Leur étude sera entreprise incessamment, de telle sorte qu'ils seront prêts pour les comparaisons lorsque la température commencera à s'abaisser.

Nous avons apporté à la construction de ces thermomètres une modification importante qui en facilite beaucoup l'étude : la verrerie de l'instrument étant complètement terminée, on en fait d'abord un thermomètre à mercure fermé et vide d'air. Le calibrage et le jaugeage sont faits au moyen de ce remplissage provisoire; le thermomètre est ensuite vidé, nettoyé et rempli définitivement. Toute l'étude préliminaire peut ainsi être faite en moins d'une semaine.

M. Guillaume s'est occupé encore, avec la collaboration de M. Ozenne, de quelques recherches qui complètent utilement notre connaissance du thermomètre à mercure; il a déterminé ainsi la constante de sensibilité de plusieurs thermomètres dans l'eau et dans l'air et continué ses recherches sur la colonne émergente.

Dans cette dernière direction, il a déterminé, à l'aide des ampoules mêmes soufflées dans le thermomètre, la distribution de la température le long de la tige, et montré, par des expériences directes, que le système de la colonne auxiliaire est d'une application facile et d'une parfaite efficacité. Enfin, il a examiné l'effet des variations de forme du ménisque sur l'indication des thermomètres.

Pour les thermomètres à tube étroit et à gros réservoir, cet effet peut dépasser sensiblement les erreurs des lectures et rendre la précision illusoire. Ce fait avait déjà été signalé par plusieurs observateurs; M. Guillaume s'est occupé surtout d'y chercher remède par une disposition convenable des observations.

Dans le courant de l'hiver, M. Guillaume a repris ses recherches sur la mesure des températures par les procédés électriques, recherches sur lesquelles il remettra au Comité un rapport détaillé. Je dirai seulement ici que, suivant le programme communiqué au Comité l'année dernière, M. Guillaume a repris la mesure de la variation de la résistance du mercure; cette détermination, exécutée

simultanément par deux méthodes distinctes et au moyen des appareils perfectionnés, mis à la disposition du Bureau par M. Carpentier, a conduit à des résultats parfaitement satisfaisants.

Jusqu'ici aucun appareil définitif de mesure n'a été construit; avant qu'on puisse le faire, il est nécessaire d'exécuter encore quelques études de détail sur ses divers éléments : métaux à employer, boîtes de résistances, pont, galvanomètre, etc.

Je ne quitterai pas ce sujet sans signaler un fait qui démontre que l'importance de nos travaux, dans le domaine de la Thermométrie, commence à être sérieusement appréciée. L'année dernière un jeune savant finlandais, M. Melander, avait demandé l'autorisation de venir étudier nos méthodes et d'effectuer avec nos appareils l'étude complète d'un thermomètre. Cette année, cet exemple a été suivi par d'autres savants de divers pays, que M. Guillaume s'est empressé de mettre au courant des détails pratiques de la Thermométrie.

M. Guillaume est resté chargé du soin de la bibliothèque, travail dans lequel il est assisté par M. Ozenne. Je dirai à ce propos que, jusqu'à l'année dernière, notre crédit très limité ne permettait à notre bibliothèque qu'un accroissement d'autant plus lent que les dons étaient restés peu nombreux.

Le crédit de 800<sup>fr</sup>, voté par le Comité dans sa dernière session, nous met plus au large. D'une part, nous avons renoncé à quelques abonnements peu utiles; d'autre part, les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* et les *Proceedings* de la Royal Society nous seront dorénavant envoyés gratuitement, ce qui augmente encore les sommes dont nous pouvons disposer. Cependant, avant de faire de nouveaux achats, à part les plus indispensables, nous compléterons nos séries, et nous ferons relier les ouvrages restés en fascicules.

D'une manière générale, j'ai le plaisir d'informer le Comité que les envois sont devenus beaucoup plus nombreux qu'autrefois; quelques-uns d'entre eux sont fort importants. Je signalerai, en particulier, le don très apprécié de la collection complète des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, et l'envoi, par le Bureau topographique italien, de toutes les feuilles parues jusqu'ici de la Carte d'Italie. Nous donnons, du reste, dans les Rapports aux Gouvernements, chaque année, la liste complète des dons, échanges ou achats qui intéressent notre bibliothèque.

On se souvient que, l'année dernière, le Comité avait renoncé, avec regret, à l'achat d'une fort belle collection de livres anciens, concernant les poids, mesures et monnaies, que M. Jervis, Conservateur du Musée de Turin, nous avait offerte. M. Jervis nous propose

actuellement de scinder cette collection, et de faire pour nous un choix de livres rares, se rapportant plus spécialement aux poids et mesures, qu'il nous offre à un prix très modique. Il y aurait lieu, je crois, d'accepter maintenant l'offre ainsi modifiée de M. Jervis.

M. Ozenne, aide et calculateur, a été employé, pendant le courant de cette année, à de multiples occupations. Ainsi que je l'ai déjà dit, il a assisté M. Chappuis dans les expériences aux basses températures, et M. Guillaume dans les recherches complémentaires de Thermométrie mentionnées ci-dessus, ainsi que dans quelques expériences sur les résistances électriques, qui exigeaient la collaboration de deux observateurs. Dans la section de Thermométrie, il a calibré plusieurs thermomètres et déterminé des coefficients de pression et des intervalles fondamentaux. Je l'ai, en outre, chargé de faire une série prolongée de comparaisons entre nos baromètres de troisième ordre. Il a réduit et calculé un grand nombre d'observations, et, enfin, il a donné ses soins à la correction des épreuves du tome VIII des *Travaux et Mémoires*, actuellement à l'impression. Dans tous ces travaux, M. Ozenne a montré beaucoup de zèle et d'habileté, et s'en est acquitté à notre entière satisfaction. J'ajoute que l'excellente écriture qu'il a l'avantage de posséder lui permet de nous rendre de réels services comme copiste.

Je terminerai ce rapport en y ajoutant, comme d'habitude, la liste des certificats délivrés par le Bureau international depuis la précédente session.

**Certificats délivrés du 1<sup>er</sup> octobre 1890 au 1<sup>er</sup> septembre 1891.**

1.	1890. Oct. 18.	1 thermomètre Tonnelot n° 4829.....	} Observatoire météoro- logique d'Odessa.
2.	Déc. 8.	1 thermomètre Tonnelot n° 4867.....	} Institut royal physiolo- gique, à Christiania.
3.	Déc. 9.	1 thermomètre Tonnelot n° 4861.....	} Institut royal météoro- logique, à Utrecht.
4.	Déc. 16.	2 thermomètres Tonnelot n° 4818 et 4819.....	} Bureau de vérific. des alcoomètres, France.
5.	Déc. 16.	1 thermomètre Tonnelot n° 4826.....	} Bureau de vérific. des alcoomètres, France.
6.	Déc. 17.	1 thermomètre Tonnelot n° 4612.....	} Institut de Physique de l'Université, Saint- Petersbourg.

7.	1890. Déc. 19.	1 thermomètre Tonnelot n° 4843.....	} Cabinet de Physique de l'Université, Kazan.
8.	Déc. 24.	2 thermomètres Tonnelot nos 4808 et 4809.....	} M. Louguinine, à Paris.
9.	Déc. 31.	1 thermomètre Tonnelot n° 4868.....	} Observatoire météoro- logique de l'Univer- sité, Kharkof.
10.	Déc. 31.	1 thermomètre Tonnelot n° 4835.....	} M. de Visser, à Utrecht.
11.	1891. Janv. 15.	1 thermomètre Tonnelot n° 4832.....	} Institut de Physique de l'Université, Rome.
12.	Janv. 15.	1 thermomètre Tonnelot n° 4842.....	} Institut de Physique de l'Université, Rome.
13.	Avr. 19.	1 kilogramme en bronze doré.....	} MM. Herzberg et Kuhl- mann, à Hambourg.
14.	Août 1.	1 thermomètre Tonnelot n° 4903.....	} Observatoire météoro- logique, Odessa.
15.	Août 1.	1 thermomètre Tonnelot n° 4869.....	} Observatoire météoro- logique, Odessa.
16.	Août 31.	1 thermomètre Tonnelot n° 4866.....	} Bureau Central météo- rologique, France.

**Rapports présentés du 1<sup>er</sup> octobre 1890 au 1<sup>er</sup> septembre 1891.**

1.	1890. Oct. 13.	3 thermomètres nos 561, 562 et 563 (Kew Stan- dards).....	} Observatoire de Kew.
2.	Oct. 15.	Un baromètre Fortin...	} Bureau Central météo- rologique de France.
3.	Déc. 5.	Réponses aux questions adressées par le Kew Committee (supplé- ment au rapport I).	
4.	Déc. 19.	Une échelle sur verre...	} Haynald Observato- rium, Kalocsa (Hon- grie).
5.	Déc. 23.	Une règle divisée et une vis à pointes d'un ba- romètre normal.....	} Bureau Central météo- rologique de France.

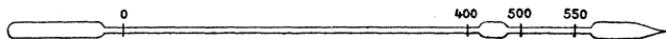
## Rapport sur les comparaisons effectuées aux températures basses entre les thermomètres à alcool, à toluène et le thermomètre à hydrogène;

Par M. CHAPPUIS.

Vers la fin de 1890, le Bureau international était en possession de quatre thermomètres principaux qui devaient être comparés au thermomètre à hydrogène aux températures basses. M. le D<sup>r</sup> Wild avait, en outre, demandé au Bureau la comparaison d'un thermomètre à alcool appartenant à l'Observatoire physique central de l'Empire russe, construit par M. Baudin et divisé en degrés centigrades entre  $-100^{\circ}$  et  $+10^{\circ}$ .

Les quatre thermomètres du Bureau international, construits, suivant nos indications, par M. Tonnelot, portent une division arbitraire, en millimètres; ils ont les dimensions indiquées sur la *fig. 1* et se

Fig. 1.



terminent par une ampoule dont la capacité diffère sensiblement suivant les instruments.

Après avoir été calibrés sous la direction de M. le D<sup>r</sup> Guillaume, deux d'entre eux, n<sup>os</sup> 4771 et 4773, furent remplis de toluène chimiquement pur, et les deux autres, n<sup>os</sup> 4772 et 4774, d'alcool rectifié. Les deux thermomètres à toluène étaient construits de manière à permettre l'observation de l'intervalle fondamental (0.100), qui fut déterminé par douze séries d'observations, à des pressions barométriques diverses, par M. Guillaume. Quant aux thermomètres à alcool, la valeur du degré devait être déterminée par des comparaisons avec nos thermomètres étalons à mercure, entre  $0^{\circ}$  et  $30^{\circ}$ . Je fus chargé de ces comparaisons, que j'effectuai en position verticale dans l'appareil à cloches de verre décrit dans le tome V des *Travaux et Mémoires*, p. 76. Je comparai de la même manière les thermomètres à toluène à nos thermomètres étalons, à une série de températures comprises entre  $0^{\circ}$  et  $35^{\circ}$ .

Dans le Tableau suivant, qui donne les résultats de ces comparaisons, les températures mesurées sur les thermomètres à mercure sont réduites en degrés normaux (échelle du thermomètre à hydrogène), et les températures mesurées sur les thermomètres à to-

luène sont exprimées en degrés moyens de l'intervalle (0.100) (1).

TABLEAU I. — Résultats des comparaisons au-dessus de zéro.

Thermo- mètre à hydrogène.	Thermomètres à toluène. Températures déduites de de l'intervalle fondamental.		Thermo- mètre à hydrogène.	Thermomètres à alcool. Températures déduites de de l'intervalle (0.30).	
	Degrés normaux.	4771.    4773.		Degrés normaux.	4772.    4774.
35,131	+31,60	+31,60	0	0	0
30,551	+27,42	+27,41	29,476	29,476	29,476
25,000	+22,31	+22,29	24,789	24,62	24,60
20,054	+17,79	+17,77	20,051	19,77	19,76
14,857	+13,06	+13,08	14,870	14,55	14,58
10,058	+ 8,78	+ 8,80	10,155	9,87	9,91
5,289	+ 4,60	+ 4,59	5,195	5,01	5,03
0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00

Les thermomètres décrits ci-dessus devaient être comparés directement au thermomètre à hydrogène à un grand nombre de températures au-dessous de zéro.

Dans ce but, j'ai fait construire l'appareil représenté dans la *fig. 2*, qui m'a permis d'obtenir toutes les températures comprises entre 0° et -74°, avec une constance et une uniformité suffisantes pour les comparaisons, en utilisant la détente du chlorure de méthyle ou de l'acide carbonique liquide. J'ai tiré parti, dans la construction de cet

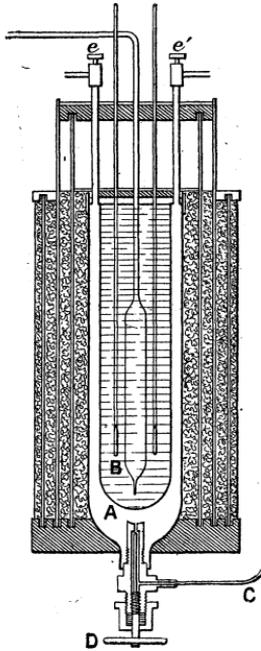
(1) La détermination de la valeur moyenne du degré entre 0° et 100° présentait, dans le cas actuel, des difficultés particulières, à cause de l'augmentation de la pression de l'air renfermé dans les thermomètres. Quand la température s'élève de 0° à 100°, cet air est refoulé dans l'ampoule terminale. Or celle-ci a des dimensions sensiblement différentes suivant les thermomètres. L'augmentation de la pression intérieure devait donc différer également dans ces deux instruments. Une évaluation approximative des capacités des ampoules terminales et la détermination du coefficient de pression du toluène m'ont permis cependant de corriger les indications des thermomètres à toluène de l'effet de la pression. Celles-ci concordent, comme on voit, à 1 ou 2 centièmes de degré près, dans tout l'intervalle (0°.100°) dans lequel les corrections de pression sont sensibles.

appareil, des ingénieuses dispositions du « cryogène » de M. Cailletet, à qui je suis heureux de pouvoir exprimer ici ma reconnaissance.

DESCRIPTION DE L'APPAREIL DE COMPARAISON AUX TEMPÉRATURES BASSES.

Il consiste en une cloche de cuivre A, à double paroi (fig. 2), renfermant dans sa cavité intérieure B un bain d'alcool dans lequel sont plongés les thermomètres que l'on veut comparer entre eux.

Fig. 2.



L'espace annulaire compris entre les deux parois de la cloche peut être mis en communication avec un récipient d'acide carbonique ou de chlorure de méthyle, par l'intermédiaire d'un robinet à pointeau D et d'un tube C en cuivre rouge. Cet espace communique en outre avec l'atmosphère par deux autres robinets à pointeau e, e', soudés à la partie supérieure de la cloche.

Je décrirai plus loin les dispositions qui ont permis d'isoler con-

venablement les parties essentielles de cet appareil, sans gêner l'observation des thermomètres. On s'explique aisément son fonctionnement.

Les deux robinets *e*, *e'* étant largement ouverts, j'introduis de l'acide carbonique liquide dans l'appareil en ouvrant un peu le robinet de détente D. Arrivé à l'orifice du robinet, cet acide carbonique liquide se volatilise immédiatement, en produisant un refroidissement énergique qui se transmet peu à peu au bain dans lequel les thermomètres sont plongés et s'échappe par les robinets supérieurs. En réglant le robinet D, on pourrait arriver, dans ces conditions, à un refroidissement régulier, si l'acide carbonique, en se détendant, ne se solidifiait pas en partie. La neige d'acide carbonique obstrue alors peu à peu l'orifice et arrête l'écoulement. On peut atténuer sensiblement ces inconvénients en immergeant le robinet dans de l'alcool, qui dissout la neige à mesure qu'elle se forme. Avec un peu d'habitude, on arrive, par une manœuvre convenable du robinet, à obtenir des températures très constantes dans tout l'intervalle de  $-40^{\circ}$  à  $-74^{\circ}$ .

Lorsqu'on veut opérer à des températures moins basses, entre  $0^{\circ}$  et  $-40^{\circ}$ , on emploie avec avantage le chlorure de méthyle, qui bout, comme l'on sait, à  $-23^{\circ}$  sous la pression atmosphérique; mais il convient de modifier un peu la manière de procéder. On commence par remplir de ce liquide l'espace compris entre les doubles parois de la cloche. Si l'on ouvre alors les robinets supérieurs, il se produit aussitôt une ébullition violente qui abaisse graduellement la température jusqu'à  $-23^{\circ}$ . On pourra donc, en réglant l'échappement des vapeurs dans l'atmosphère, obtenir toutes les températures supérieures à  $-23^{\circ}$ . De plus, en opérant la détente du liquide dans un récipient où l'on entretient un vide plus ou moins parfait, on peut atteindre toutes les températures comprises entre  $-23^{\circ}$  et  $-40^{\circ}$ .

Pour isoler parfaitement la cloche de cuivre, on l'a fixée sur un plateau d'une substance peu conductrice, dite « fibre », porté lui-même par un bâti de fonte donnant une grande stabilité à l'appareil et permettant de le déplacer à volonté dans le sens vertical. Sur le plateau de fibre, on a pratiqué une série de rainures dans lesquelles viennent s'engager les bases de trois cylindres de verre mince, garnis de feutre, qui entourent la cloche, en laissant entre eux des espaces annulaires de 1<sup>cm</sup>, 5 environ. Les deux cylindres intérieurs dépassent de 15<sup>cm</sup> environ le bord supérieur de la cloche et sont fermés, en haut, par un couvercle feutré que traversent les tiges des thermomètres et de l'agitateur. La cloche elle-même est fermée par un pre-

mier couvercle de peu d'épaisseur au niveau duquel on a soin de ramener toujours les ménisques des thermomètres, afin d'éviter les erreurs provenant des colonnes émergentes. La lecture des thermomètres se fait donc très près de la surface du bain, à travers la partie supérieure des deux cylindres de verre. On a placé entre ces cylindres, dans du papier buvard, de petits fragments de chlorure de calcium qui maintiennent l'air sec et empêchent ainsi la formation de la buée sur le verre.

*Thermomètre à hydrogène.* — Le thermomètre à hydrogène, dont je me suis servi dans ces comparaisons, a déjà été décrit sommairement dans les *Procès-Verbaux des séances du Comité international en 1890*, p. 23. Je me bornerai donc à indiquer ici les observations de la pression initiale relevées pendant le cours des comparaisons.

1890.	3 novembre.	Pression à zéro.....	997,20
1891.	10 février.	» » .....	997,20
»	9 mars.	» » .....	997,19
»	22 mai.	» » .....	997,14

Ces observations indiquent une diminution de la pression initiale extrêmement lente, qui pouvait s'expliquer, soit par une perte réelle très faible d'hydrogène, soit par un déplacement graduel du tube barométrique par rapport à la règle. Pour vérifier cette dernière supposition, j'ai déterminé de nouveau, à l'aide d'un cathétomètre, la position des pointes du baromètre et de la branche fermée du manomètre par rapport à la règle et au zéro du vernier.

J'ai déduit de ces observations la correction totale de départ

$$14^{\text{mm}},327$$

qu'il faut appliquer aux pressions mesurées.

Or j'avais trouvé antérieurement pour cette correction :

$$14^{\text{mm}},323.$$

On peut donc admettre que la très faible diminution observée n'est due qu'à une perte insignifiante d'hydrogène, dont on a d'ailleurs tenu compte, et que le thermomètre à gaz n'a subi pendant le cours des mesures aucune altération d'un autre ordre qui eût pu fausser ses indications.

*Comparaisons.* — Celles-ci se divisent en deux groupes, dont le premier comprend les deux thermomètres à toluène n<sup>os</sup> 4771 et

4773 et les thermomètres à alcool 4772 et 4774. Le second groupe de comparaisons intéresse seulement le thermomètre à alcool de M. Wild.

Les résultats du premier groupe sont réunis dans le Tableau suivant.

Thermomètre à hydrogène.	Thermomètres à toluène.		Thermomètres à alcool.	
	Températures déduites de l'intervalle fondamental.		Températures déduites de l'intervalle (0.30) par comparaison.	
	Degrés normaux.	4771.	4773.	4772.
0	0	0	0	0
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
— 7,09	— 5,99	— 6,02	— 6,70	— 6,71
—13,98	—11,78	—11,84	—13,15	—13,14
—17,25	—14,52	—14,55	—16,17	—16,18
—22,91	—19,20	—19,24	—21,38	—21,39
—27,41	—22,89	—22,93	—25,51	—25,50
—32,26	—26,73	—26,80	—29,90	—29,86
—32,89	—27,33	—27,36	—30,47	—30,46
—33,24	—27,61	—27,65	—30,80	—30,80
—33,54	—27,78	—27,84	—31,06	—31,01
—33,70	—27,98	—28,02	—31,19	—31,19
—34,09	—28,20	—28,25	—31,51	—31,49
—36,76	—30,37	—30,42	—33,92	—33,92
—37,50	—30,98	—31,04	—34,61	—34,60
—37,73	—31,17	—31,23	—34,84	—34,81
—38,26	—31,67	—31,69	—35,31	—35,32
—40,00	—32,97	—33,04	—36,85	—36,86
—40,78	—33,61	—33,67	—37,56	—37,57
—40,96	—33,76	—33,84	—37,74	—37,74
—41,74	—34,35	—32,42		—38,39
—44,26	—36,37	—36,43		—40,65
—44,70	—36,73	—36,81		—41,07
—47,34	—38,81	—38,88		—43,46
—48,73	—39,89	—39,90		—44,58
—48,77	—39,94	—40,05		—44,70
—49,02	—40,19	—40,23	—44,82	—44,80
—50,35	—41,22	—41,29	—46,03	—46,08
—52,30	—42,70	—42,76		—47,82
—52,67	—43,08	—43,13	—48,15	—48,18
—53,55	—43,67	—43,73		—48,82

Thermomètre à hydrogène.	Thermomètres à toluène.		Thermomètres à alcool.	
	Températures déduites de l'intervalle fondamental.		Températures déduites de l'intervalle (0.30) par comparaison.	
	Degrés normaux.	4771.	4773.	4772.
—55,59	—45,30	0	—50,64	—50,67
—56,33	—45,83	—45,96		—51,38
—59,11	—48,07	—48,19	—53,91	—53,96
—64,80	—52,45	—52,56		—58,78
—64,83	—52,51	—52,57		—58,84
—66,83	—54,08	—54,10		—60,55
—70,21	—56,67	—56,76		—63,54
—70,73	—57,06			—63,67
—72,17	—57,86			
—73,54	—58,75			—64,30
—73,95	—59,30			

Chacun des résultats précédents représente une série de cinq observations.

Dans une partie des comparaisons aux températures inférieures à —40°, j'ai remplacé le thermomètre n° 4772 par le thermomètre de M. Wild, ce qui explique les lacunes du Tableau ci-dessus.

Les comparaisons effectuées entre le thermomètre de M. Wild et le thermomètre à hydrogène ont fourni les résultats suivants.

Thermomètres			Différence $T_H - t_{\text{alcool}} = \text{correction.}$
à hydrogène $T_H.$	à alcool $t_{\text{alcool.}}$		
0	0		0
+ 9,53	+ 9,67		—0,14
0,00	0,00		0,00
—13,20	—13,06		—0,14
—17,66	—17,23		—0,43
—23,13	—22,51		—0,62
—23,16	—22,54		—0,62
—30,47	—29,34		—1,13
—37,00	—35,38		—1,62
—41,74	—39,46		—2,28
—44,26	—41,70		—2,56
—44,70	—42,09		—2,61

Thermomètres		
à hydrogène	à alcool	Différence
$T_H$ .	$t_{\text{alcool}}$ .	$T_H - t_{\text{alcool}} = \text{correction.}$
<sup>o</sup> —47,34	<sup>o</sup> —44,56	—2,78
—48,73	—45,68	—3,05
—48,77	—45,82	—2,95
—52,30	—48,98	—3,32
—53,55	—50,04	—3,51
—64,83	—60,04	—4,79
—66,83	—61,83	—5,00
—70,21	—64,79	—5,42
—72,17	—66,46	—5,71
—73,54	—67,70	—5,84

L'examen de ce Tableau montre que les indications des thermomètres à alcool, fabriqués même par des constructeurs fort habiles, s'écartent des températures observées au thermomètre à hydrogène de quantités très notables, dans le sens qu'on pouvait prévoir; c'est-à-dire que le thermomètre à alcool marque des températures trop élevées dans toute cette partie de l'échelle.

Je crois devoir ajouter que les comparaisons dont je viens de résumer les résultats sont très laborieuses et exigent beaucoup de temps, parce qu'on est obligé de maintenir la température plusieurs heures avant de commencer les lectures, afin de laisser au liquide qui mouille les parois des tubes thermométriques le temps de se réunir à la colonne.

Comme M. le Directeur Benoit le fait remarquer dans son *Rapport sur les Travaux*, il reste encore quelques points à élucider relativement au choix du liquide thermométrique pour la mesure des basses températures. Les résultats obtenus jusqu'ici sont, il est vrai, un peu plus favorables à l'alcool qu'au toluène; mais on sait que divers savants ont constaté, au bout d'un certain temps, une altération très sensible de l'alcool enfermé dans des thermomètres. Une telle modification rendrait évidemment toute mesure incertaine et condamnerait l'emploi de l'alcool.

Il me paraît donc utile de poursuivre ces recherches sur les deux liquides à la fois, en apportant à la construction des thermomètres les petites modifications reconnues avantageuses par les expériences précédentes (capacité égale et connue des ampoules terminales, longueur de tige un peu plus grande entre réservoir et zéro de

l'échelle, etc.). Je ne doute pas que la suite de ces expériences ne nous mette en possession d'instruments d'une construction et d'une étude individuelle relativement faciles, dont les indications pourraient être ramenées, avec une précision de quelques centièmes de degré, à celles du thermomètre à hydrogène, par l'application uniforme de corrections dont l'étude précédente indique le sens et la grandeur.

### **Rapport sur la mesure des températures par les procédés électriques;**

Par M. CH.-ED. GUILLAUME.

Dans son Rapport sur les travaux de l'année, M. le Directeur a déjà mentionné les recherches que j'ai poursuivies l'hiver dernier sur les étalons mercuriels de résistance; de mon côté, j'ai préparé un Rapport détaillé sur ces mesures; mais il ne sera pas inutile de préciser l'état actuel de la question des mesures thermométriques par les procédés électriques, d'indiquer la nature des travaux qui peuvent être entrepris au Bureau, et de montrer le lien qui existe entre les travaux déjà exécutés et l'ensemble des recherches à entreprendre.

Je rappellerai d'abord que des travaux dans cette direction sont, depuis longtemps, inscrits à notre programme. Dans un Rapport présenté au Comité, le 22 septembre 1877, M. le Professeur Foerster recommandait l'étude des procédés thermo-électriques. Depuis lors, on y est revenu à diverses reprises, et si ces travaux ont été renvoyés d'année en année, c'est eu égard à la nécessité d'étudier d'abord à fond le thermomètre à gaz et le thermomètre à mercure, de fixer une échelle normale des températures, et de munir le Bureau d'un outillage thermométrique complet.

Les années écoulées n'ont, du reste, pas été perdues au point de vue des recherches qui nous occupent, car l'industrie électrique nous fournit aujourd'hui des moyens très supérieurs à ceux que nous eussions pu nous procurer il y a seulement dix ans. La nécessité d'opérer avec un bon outillage ressort déjà des faits que, entre les mains si habiles de Regnault, la mesure électrique des températures avait donné de très médiocres résultats, qui avaient conduit le grand métrologiste à les condamner absolument. Aujourd'hui, le gros du travail est suffisamment avancé pour que les recherches de précision puissent utilement être entreprises.

L'emploi du thermomètre à mercure, si précis et surtout si simple dans les circonstances ordinaires, devient impossible dans les cas suivants :

1° Mesure des températures inférieures à  $-39$  ou supérieures à  $+500$ ;

2° Mesure en un lieu inaccessible à la lecture;

3° Mesure d'intervalles très petits (inférieurs au millième de degré par exemple), ou de quantités de chaleur très limitées, pour lesquelles sa capacité calorifique est toujours beaucoup trop considérable. Dans ces trois directions, d'importantes recherches ont déjà été exécutées, en partant de divers points de vue.

Deux ordres de phénomènes ont été utilisés concurremment : les phénomènes thermo-électriques (variation de la force électromotrice de contact) et les variations de la résistance électrique des métaux.

M. Le Chatelier a basé sur les premiers un pyromètre industriel, d'une précision moyenne, mais fidèle et robuste, en employant le couple platine-platine rhodié. Wroblewski, MM. Cailletet et Colardeau ont employé un couple à la mesure des températures très basses produites par l'ébullition de l'azote, de l'oxygène (Wroblewski) ou de l'éthylène (Cailletet et Colardeau). Enfin M. C.-V. Boys, en suspendant à une fibre de quartz un couple bismuth-antimoine fermé par un cadre de cuivre dans un champ magnétique, est arrivé à mesurer des radiations prodigieusement faibles.

Des recherches non moins importantes ont été faites à l'aide des résistances électriques. MM. Callendar et Griffiths, à Cambridge, qui ont travaillé pendant plusieurs années à la construction d'un appareil pratique de mesure, pensent avoir démontré qu'un fil de platine recuit à  $1500^{\circ}$ , et soustrait à l'absorption de vapeurs métalliques, reste absolument invariable. Des recherches aux températures très basses ont été faites par les auteurs cités plus haut; et, bien que Wroblewski ait cru pouvoir conclure de ses mesures que la résistance électrique du cuivre éprouve un abaissement subit vers  $-200^{\circ}$ , j'ai suffisamment démontré, je crois, qu'il n'y a là qu'une erreur d'interprétation.

Enfin, des recherches déjà classiques, que M. Langley poursuit depuis plus de dix ans sur la radiation des astres ou des corps terrestres, sont parmi celles qui ont le plus contribué à notre conception moderne du spectre.

Cette rapide énumération pourrait faire croire qu'il ne reste presque plus rien à faire dans le domaine qui nous occupe. On remarquera

cependant qu'aucune recherche n'a encore été faite sur la mesure *précise* des températures ordinaires ou des températures très basses, et que de plus, à part les appareils industriels, chaque physicien a construit pour ses recherches personnelles l'appareil dont il avait besoin sans chercher beaucoup à lui donner une forme qui lui permit de se répandre.

Dans ces deux directions, il reste beaucoup à faire, non pas, je tiens à le répéter, que le thermomètre à mercure puisse jamais être supplanté dans les mesures ordinaires ; mais il reste, en tous cas, les températures basses d'une part, puis l'application des résistances à la mesure de la température moyenne d'un espace donné, par exemple, de la colonne entière d'un baromètre, d'une règle géodésique sur le terrain, etc. Le fil indicateur étant disposé tout le long de l'espace à explorer indique une température moyenne que, de plus, on peut lire à distance.

Pour ce dernier motif, et d'autres raisons encore, la mesure par les résistances m'a paru devoir faire l'objet de nos premières études.

Les diverses questions à examiner sont les suivantes : choix des métaux dont la résistance doit être prise comme mesure ; étude de leur variabilité moléculaire ou superficielle ; combinaison d'une méthode rapide de mesure ; construction d'un appareil pratique.

Mais, avant que cette partie définitive des recherches pût être abordée, il était nécessaire de faire une étude très soignée d'étalons invariables, auxquels on pût rapporter toutes les mesures, et au moyen desquels on pût soumettre à un sérieux examen les procédés de mesure des températures. C'est là l'origine de mes recherches sur les étalons mercuriels ; j'avais, du reste, fait mon éducation pratique dans le maniement de ces instruments ; à la suite de son travail classique sur l'ohm légal, M. Benoit avait bien voulu m'admettre à collaborer aux comparaisons des diverses copies mercurielles entre elles ou avec les prototypes.

Les recherches définitives sur la variation des étalons mercuriels avec le temps ou sous l'influence de la température ont été faites dans les deux derniers hivers. A part quelques études de détail, je puis les considérer comme terminées. Elles ont été entreprises à un moment où la réduction de nos ressources commandait la plus stricte économie et elles auraient, sans aucun doute, dû être ajournées si M. Carpentier ne m'était venu en aide de la façon la plus efficace en mettant gracieusement à ma disposition les appareils de mesure construits avec la plus haute précision. J'ajouterai que de nouveaux appareils sont en construction chez M. Carpentier.

Pendant l'interruption de ces recherches, occasionnée par la détermination des dilatations, et les travaux ordinaires de la section de Thermométrie, j'ai préparé quelques détails des nouvelles expériences ; j'ai essayé une nouvelle clef pour boîtes de résistance, et construit à la Manufacture nationale de Sèvres, au laboratoire de M. G. Vogt, de petites rondelles de porcelaine perforées, destinées à servir d'isolateurs dans les bobines ; enfin, j'ai fait, d'après les procédés que m'a enseignés M. Boys, des fils de quartz qui, en dehors de l'usage que l'on pourra en faire dans les micromètres, constituent aujourd'hui la meilleure suspension de galvanomètre que l'on connaisse.

M. le PRÉSIDENT remercie M. le Directeur de ses rapports importants et rédigés avec tout le soin auquel M. Benoît a habitué le Comité. Il pense qu'il convient de les renvoyer comme d'habitude à l'examen des deux Commissions spéciales qu'il propose de nommer immédiatement.

Il désigne :

1° Comme membres de la Commission des Comptes et des Finances : MM. Arndtsen, Bertrand, Foerster et de Macedo ;

2° Pour la Commission des instruments et des travaux : MM. Chaney, Gould, von Lang, Thalén et Wild.

M. le PRÉSIDENT prie ces Commissions de se constituer à l'issue de la séance, et il espère que l'une d'entre elles pourra peut-être déposer une partie de son rapport à la prochaine séance, qu'il fixe seulement à mercredi, pour donner aux Commissions le temps de travailler.

Il propose que d'ici là le Comité se rende, comme l'année dernière, au Conservatoire des Arts et Métiers, où M. le colonel Laussedat exposera l'état actuel des travaux que la Section française est chargée d'exécuter pour la construction des étalons à bouts.

M. HIRSCH croit en effet que le Comité a tout intérêt à être renseigné sur l'état d'avancement de ces travaux,

attendu que, conformément aux déclarations faites par M. Laussedat l'année dernière, il a pris vis-à-vis des Gouvernements l'engagement de livrer ces prototypes avant la fin de 1892.

M. le PRÉSIDENT propose au Comité de se trouver lundi 14 septembre, à 11 heures du matin, au Conservatoire des Arts et Métiers, et prie le Secrétaire d'en informer M. le colonel Laussedat.

Cette proposition ayant été adoptée, la séance est levée à 4 heures et demie.



---

# PROCÈS-VERBAL

DE LA DEUXIÈME SÉANCE,

TENUE AU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS,

Lundi 14 septembre 1891.

PRÉSIDENCE DE M. J. BERTRAND.

---

Sont présents :

M. LAUSSEDAT, Directeur du Conservatoire des Arts et Métiers, secrétaire de la Section française ; M. GUSTAVE TRESCA, ingénieur-adjoint au Conservatoire des Arts et Métiers.

Les membres du Comité : MM. ARNDTSEN, BENOÎT, CHANEY, FOERSTER, HIRSCH, DE MACEDO, THALÉN, WILD.

M. le PRÉSIDENT remercie ses collègues du Comité de s'être réunis de nouveau cette année au Conservatoire des Arts et Métiers, afin de recevoir des renseignements sur l'avancement des travaux confiés à la Section française pour l'avancement des prototypes encore à livrer aux États qui les ont commandés. Il invite M. Laussedat à communiquer au Comité les données concernant l'état actuel de ces travaux.

M. LAUSSEDAT constate d'abord que les règles à traits qu'il fallait encore fournir ont été achevées et livrées dernièrement au Bureau international pour y être déterminées.

Quant aux six règles à bouts, on leur a fait subir deux opérations successives, postérieures au dressage et au rabo-

tage, qui étaient déjà effectués lorsqu'elles ont été mises l'an dernier sous les yeux du Comité. Réduites d'abord à 1<sup>m</sup>,04, elles ont été envoyées à Breteuil pour la détermination de leur coefficient de dilatation ; puis on les a encore une fois rognées à 1<sup>m</sup>,001 de longueur pour les préparer à la dernière opération très délicate qui a été ajournée pour plusieurs motifs sérieux.

Le premier, et de beaucoup le plus important, c'est qu'on a continué à étudier la meilleure manière de pratiquer cette opération, à l'aide d'un outil spécial dont les dispositions ont été modifiées fréquemment.

Le second est d'ordre purement administratif : M. G. Tresca, à qui cette opération a été confiée, n'a pu s'en occuper plus tôt, ayant eu à prendre une part active à l'installation des laboratoires des deux nouveaux cours de Métallurgie et d'Électricité industrielle, créés au Conservatoire.

Toutefois, il ne faut pas regretter le retard que nous avons ainsi fait éprouver à l'achèvement des règles à bouts, retard que le premier motif indiqué eût suffi à justifier.

Aujourd'hui, on peut admettre que l'outil, dont la description a été faite devant le Comité, est bien arrêté dans tous ses détails ; il va être commandé incessamment aux ateliers de Puteaux, qui veulent bien se charger de le construire. On a également commandé une nouvelle dynamo, destinée à actionner le tour sur lequel seront centrés les mètres à bouts, ainsi que certaines modifications importantes que doit subir le comparateur à contact électrique de Van den Kerchove, dont on doit se servir au Conservatoire pour suivre attentivement les progrès de l'usure de la seconde face des règles à bouts.

Pour assurer le succès du finissage des six règles à bouts, on est dans l'intention de procéder par tâtonnements, en prenant d'abord une règle de l'ancien bloc de platine du Conservatoire, sur laquelle on opérera, avec toutes les précautions possibles, pour se bien rendre compte des difficultés imprévues que peut offrir l'emploi de l'outil projeté,

que l'on modifierait encore au besoin avant d'entreprendre le finissage des six étalons à bouts.

Selon toutes les probabilités, la partie la plus importante de l'opération, celle qui consistera dans la réduction très approchée de la longueur des règles au voisinage d'un mètre exact, à quelques microns près, sera achevée vers le mois de mai. Les règles parvenues à cet état d'avancement seront remises au Bureau international, qui en déterminera les équations individuelles et les retournera au Conservatoire, où l'on s'efforcera de pousser l'approximation aussi loin que possible, après quoi les règles seront remises de nouveau au Bureau international qui en fixera les équations définitives.

Sans prendre d'engagement formel, en raison de l'extrême délicatesse de ces opérations successives, M. Laussedat croit cependant pouvoir donner au Comité l'espoir que, lors de sa prochaine session en 1892, il verra le travail des règles à bouts très avancé et peut-être même terminé.

La Section française comprend trop bien le désir du Comité de donner aussi tôt que possible satisfaction aux Gouvernements qui ont demandé des mètres à bouts, pour ne pas faire tout ce qui dépendra d'elle dans le but de l'aider à y parvenir.

En prenant acte des promesses que M. le Secrétaire de la Section française vient de faire, M. HIRSCH croit devoir rappeler qu'il y a deux ans qu'on s'occupe de la construction des mètres à bouts. Sans vouloir nier qu'il convient de rendre la longueur de ces règles aussi égale que possible à celle du mètre prototype, il ne partage pas l'opinion d'après laquelle il importerait surtout d'arriver à une égalité complète; que l'équation de ces étalons à bouts soit de quelques microns en plus ou en moins, cela ne diminuera en rien leur valeur métrologique; l'essentiel est de donner aux surfaces terminales une perfection qui permette le plus haut degré d'exactitude dans les comparaisons et qui assure en même temps leur invariabilité. M. Hirsch pense donc

que deux approximations pour une de ces règles suffiront largement.

Cette opinion étant partagée par le Comité, **M. le PRÉSIDENT** espère qu'en simplifiant les opérations on parviendra à terminer la tâche dans le courant de l'année prochaine ; il est persuadé que **M. le Directeur du Conservatoire** et **M. G. Tresca** feront tous leurs efforts dans ce but. En attendant, il remercie, au nom du Comité international, ces Messieurs des explications qu'ils viennent de fournir.



---

## PROCÈS-VERBAL

DE LA TROISIÈME SÉANCE,

Mercredi 16 septembre 1891.

PRÉSIDENTIE DE M. J. BERTRAND.

---

Sont présents :

MM. ARNDTSEN, BENOÎT, CHANEY, FOERSTER, GOULD, HIRSCH,  
VON LANG, DE MACEDO, THALÉN, WILD.

La séance est ouverte à deux heures et quart.

Les procès-verbaux des deux premières séances sont lus et adoptés sans observations.

M. le PRÉSIDENT prie M. FOERSTER de lire la première partie du rapport de la Commission des Comptes et des Finances, conçue dans les termes suivants :

« La Commission des Comptes et des Finances, après avoir examiné en détail les comptes pour l'exercice 1890, s'est convaincue qu'ils ont été tenus d'une manière irréprochable. Elle a constaté que toutes les dépenses sont justifiées par des pièces à l'appui.

*La Commission propose en conséquence d'approuver les comptes du Bureau international des Poids et Mesures pour l'exercice de 1890, et d'en donner décharge pleine et entière à M. le Directeur. »*

*Le Rapporteur,*  
Signé : FOERSTER.

*Le Président,*  
Signé : J. BERTRAND.

*Cette proposition est adoptée à l'unanimité.*

M. le PRÉSIDENT adresse, au nom du Comité, des remerciements à M. le Directeur pour l'ordre parfait et l'esprit d'économie qu'il continue à faire prévaloir dans l'administration du Bureau.

Il donne ensuite la parole au Secrétaire pour continuer son rapport sur la gestion du bureau du Comité.

M. HIRSCH commence par résumer les réponses des différents États à la circulaire du 25 octobre 1890, par laquelle le bureau demandait aux Gouvernements de bien vouloir transmettre leur ratification des résolutions prises par la Conférence générale au sujet du budget de la seconde période, et de fournir les données statistiques actuelles qui permettraient au Comité de calculer le nouveau Tableau des contributions.

Le Secrétaire constate de nouveau qu'aucun des États n'a refusé d'approuver les résolutions budgétaires de la Conférence. Le seul pays qui avait d'abord formulé quelques réserves, l'Allemagne, les a abandonnées, comme il résulte de la correspondance déjà publiée dans le quatorzième Rapport aux Gouvernements.

Par contre, comme un certain nombre d'États n'avaient pas répondu, le bureau leur a adressé une nouvelle dépêche, en date du 13 mai 1891. Depuis lors, deux de ces États ont fait parvenir leur ratification, de sorte qu'actuellement les seules réponses attendues sont celles de l'Autriche-Hongrie, la Belgique, le Pérou, le Portugal et la Serbie (1).

Les mêmes États, auxquels il faut ajouter la Roumanie, n'ont pas encore fourni les données statistiques récentes.

A la demande du Secrétaire, le bureau est chargé de renouveler cette demande auprès de ces Gouvernements, en invoquant l'urgence qu'il y a d'adresser le plus tôt pos-

---

(1) Quelques jours après la lecture de ce rapport, le Secrétaire a reçu une dépêche de la Légation de Serbie, donnant connaissance de la ratification de son Gouvernement, ainsi que des données statistiques. A. H.

sible aux États contractants le Rapport spécial financier contenant le Tableau des contributions.

Le Secrétaire rend compte du vote provoqué par la circulaire du 7 mars sur le mode d'élection du Président. Neuf membres se sont prononcés pour l'élection en session, deux pour le vote par correspondance, trois n'ont pas répondu.

Par la même circulaire, le Comité a été consulté sur la convenance d'envoyer à M. Stas, à l'occasion de son jubilé académique, une adresse de félicitations. Dix membres ayant répondu affirmativement, le Secrétaire a écrit, au nom du Comité, à M. Stas, l'adresse suivante qu'il a envoyée le 16 avril au Président de l'Académie Royale à Bruxelles :

*A Monsieur Jean-Servais Stas, membre de l'Académie Royale de Belgique, membre du Comité international des Poids et Mesures, à Bruxelles.*

TRÈS HONORÉ ET ILLUSTRE CONFRÈRE,

Le Comité international des Poids et Mesures, auquel vous appartenez depuis son origine, s'associe avec empressement à la manifestation honorifique destinée à fêter le cinquantième anniversaire de votre entrée dans la classe des Sciences de l'Académie royale de Belgique.

Il ne nous appartient pas de relever le grand mérite de vos nombreux travaux dans le domaine de la Chimie; mais nous tenons à rappeler ici les services exceptionnels qu'ont rendus à la réorganisation du système métrique et à la création de nouveaux prototypes identiques et inaltérables, vos brillantes recherches et vos remarquables analyses concernant l'alliage platinique, proposé par notre célèbre ami Sainte-Claire Deville, et accepté par le Comité essentiellement sous l'influence de votre grande autorité.

Le Comité n'est pas seulement redevable de la réussite complète de son œuvre, au point de vue chimique, à votre science et à vos infatigables travaux; mais il se souvient avec gratitude de la grande énergie par laquelle vous avez soutenu, avec notre cher et regretté Président, l'idée de la fondation d'un établissement international des Poids et Mesures.

Et récemment encore, malgré votre âge avancé, vous avez voulu

assister à la Conférence générale de 1889, à Paris, où vous nous avez aidés à obtenir la sanction unanime des nouveaux prototypes que vous avez tant contribué à créer.

Dans ce jour de reconnaissance générale de vos grands mérites scientifiques, nous ne pouvons nous empêcher d'émettre le vœu qu'il nous soit donné de profiter de votre concours actif jusqu'à l'entier accomplissement de la tâche principale qui nous est dévolue.

Ce n'est pas uniquement à ce point de vue spécial, mais dans l'intérêt général de la Science, et inspirés par les sentiments d'une vive amitié, que nous venons, à côté de tant d'autres Corps savants, vous offrir, cher et illustre Confrère, dans ce jour de fête, le témoignage de notre reconnaissance, en émettant le vœu que ce cinquantenaire soit pour vous le point de départ d'une longue série d'années consacrées aux intérêts de la Science.

Au nom du Comité international des Poids  
et Mesures.

*Le Secrétaire,*

Signé : D<sup>r</sup> AD. HIRSCH.

Neuchâtel, le 5 mai 1891.

M. le PRÉSIDENT remercie le Secrétaire d'avoir si exactement traduit les sentiments de tous les membres du Comité pour leur collègue, qui a si dignement et avec tant de succès rempli le demi-siècle de sa vie académique.

Le Secrétaire a reçu au mois de juin, de la Légation du Pérou, la note suivante :

#### LEGACION DEL PERÚ EN FRANCIA.

Le Secrétaire de la Légation du Pérou en France présente ses salutations empressées à M. le D<sup>r</sup> Ad. Hirsch, Secrétaire du Comité des Poids et Mesures, et le prie de vouloir bien lui envoyer copie des deux documents suivants :

1<sup>o</sup> Lettre du 25 octobre 1890 demandant aux Gouvernements de faire connaître le chiffre de la population actuelle des États signataires, ainsi que l'état légal du système métrique dans les différents pays.

2° Résolutions de la Conférence générale de 1889 relatives au budget de la seconde période du Bureau.

La Légation a besoin d'envoyer ces documents à son Gouvernement au moment de lui demander des instructions au sujet de l'augmentation de l'ancien budget.

Gustavo de la Fuente saisit cette occasion pour présenter à M. le Dr Hirsch l'assurance de sa plus haute considération.

Paris, le 9 juin 1891.

Il y a répondu comme suit :

*A M. Gustavo de la Fuente, Secrétaire de la Légation du Pérou,  
à Paris.*

Neuchâtel, le 11 juin 1891.

MONSIEUR LE SECRÉTAIRE,

La lettre du 25 octobre dernier accompagnait les cinq exemplaires du Rapport financier spécial que nous avons fait remettre à votre Légation le 26 du même mois. Il n'y a donc pas de doute que votre Haut Gouvernement n'en ait eu connaissance. Toutefois je me fais un plaisir de vous en envoyer la copie ci-incluse.

Quant aux résolutions de la Conférence générale de 1889, relatives au budget de la seconde période, dont la discussion se trouve reproduite dans les *Comptes rendus de la dernière Conférence générale des Poids et Mesures*, p. 56-60, que nous avons eu l'honneur de présenter à votre Légation au mois de janvier 1890, je joins également à la présente lettre la copie de la résolution votée dans la séance du 28 septembre 1889.

J'ajouterai à ces pièces, comme renseignement, d'abord qu'aucun des Gouvernements de la Convention n'a refusé d'approuver cette décision de la Conférence générale, puis que la Grande-Bretagne, dont le représentant s'était abstenu dans le vote de la Conférence, faute d'instructions, et l'Allemagne, qui avait d'abord fait une réserve pour l'avenir, jusqu'à ce qu'elle eût connaissance de l'attitude des autres Puissances, ont également ratifié la résolution.

Je ferai remarquer ensuite que, pour le Pérou en particulier, la modification de l'article 6 du Règlement porte la contribution de la seconde période de 439<sup>fr</sup> à 658<sup>fr</sup>, et que, malgré la décision de la Conférence, qui fixe à l'année 1893 le commencement de la seconde période budgétaire et autorise ainsi le Comité international à main-

tenir au besoin l'ancien budget de 100000<sup>fr</sup>, lequel pour le Pérou comportait une contribution de 809<sup>fr</sup>, le Comité a réduit le budget à 75000<sup>fr</sup> dès 1890.

Je saisis l'occasion pour vous prier, Monsieur le Secrétaire, de rappeler à Monsieur le Ministre que les contributions du Pérou pour les deux exercices de 1890 et 1891, de 658<sup>fr</sup> chacune, n'ont pas encore été versées.

Veillez agréer, Monsieur le Secrétaire, l'assurance de ma haute considération.

*Le Secrétaire,*

Signé : D<sup>r</sup> AD. HIRSCH.

Le 29 juillet, le Secrétaire a reçu de l'Ambassade d'Italie la dépêche que voici :

*A Monsieur le D<sup>r</sup> Ad. Hirsch, Secrétaire du Comité international des Poids et Mesures, à Neuchâtel.*

Paris, le 29 juillet 1891.

MONSIEUR LE SECRÉTAIRE,

Pour satisfaire à un désir de mon Gouvernement, j'ai l'honneur d'avoir recours à votre obligeance habituelle en vous priant de vouloir bien me faire parvenir deux exemplaires du douzième Rapport du Comité international aux Gouvernements signataires de la Convention du Mètre, sur l'exercice de 1888.

Je vous serai en outre très obligé, Monsieur, de vouloir bien me faire connaître si les exercices budgétaires 1888-1889, 1889-1890 et 1890-1891 ont été complètement liquidés, ou bien s'il existe encore, à la charge de ces exercices, des arriérés à payer pour l'entretien du Bureau international.

En vous remerciant à l'avance de ce qu'il vous plaira de me répondre à cet égard, je saisis cette nouvelle occasion pour vous offrir, Monsieur, l'expression de ma considération la plus distinguée.

*L'Ambassadeur d'Italie,*

Signé : MENABREA.

Le Secrétaire y a répondu :

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

Neuchâtel, le 1<sup>er</sup> août 1891.

MONSIEUR L'AMBASSADEUR,

Immédiatement après avoir reçu votre dépêche du 29 juillet, j'ai donné à nos éditeurs, MM. Gauthier-Villars et fils, l'ordre de faire remettre à votre Ambassade les deux exemplaires du *Douzième Rapport aux Gouvernements*, sur l'exercice de 1888, réclamés par le Gouvernement Royal.

Je m'empresse également de répondre à la question posée par Votre Excellence, « si les exercices budgétaires 1888-89, 1889-90 » et 1890-91 ont été complètement liquidés, ou bien s'il existe encore, à la charge de ces exercices, des arriérés à payer pour » l'entretien du Bureau international. »

En faisant observer d'abord que les exercices budgétaires de notre Institution internationale ne sont pas à cheval sur deux années, mais se bouclent au 31 décembre, je puis ajouter que tous les comptes annuels de tous les exercices passés jusque et y compris celui de 1890, sont parfaitement liquidés, ainsi que cela résulte des Rapports que nous avons eu l'honneur d'adresser régulièrement aux Hautes Parties contractantes. En particulier, Votre Excellence pourra se convaincre par le quatorzième Rapport (actuellement sous presse) sur le dernier exercice, que le Comité international a eu soin de régler, en 1890, complètement, le seul chapitre du budget (B.13), comprenant les frais d'impressions et de publications, sur lequel il existait encore un arriéré de l'exercice précédent, ainsi que de faire passer au Gouvernement français les sommes qui avaient été déposées au crédit du compte du Bureau international à la Caisse des Dépôts et Consignations, pour le paiement des prototypes de quelques États. Le léger déficit du dernier exercice, s'élevant à 1959<sup>fr</sup>, a été couvert facilement par les ressources disponibles d'autres comptes du Bureau international, grâce à la subvention extraordinaire que les Hauts Gouvernements ont bien voulu accorder au Comité international.

Quant à l'exercice courant, il n'est pas encore possible de prévoir exactement comment ses comptes se balanceront ; toutefois, les comptes mensuels pour les six premiers mois, que nous avons reçus de la Direction du Bureau, font présumer que, grâce à la plus rigoureuse économie qui est observée dans l'administration, on arrivera à pourvoir à tous les besoins de l'entretien du Bureau, pourvu que les

contributions des États ne tardent pas à rentrer complètement. A cet égard, je me permets de prier Votre Excellence de bien vouloir rappeler au Gouvernement Royal que la part contributive de l'Italie pour l'exercice de 1891, s'élevant à 6990<sup>fr</sup>, n'a pas encore été versée.

Enfin, le Comité international espère recevoir prochainement aussi de la part de l'Italie, comme des autres États, l'annonce de la ratification des résolutions de la Conférence générale au sujet du budget de la seconde période du Bureau international, ainsi que la dépêche de Votre Excellence, du 27 mai dernier, l'a fait entrevoir, en nous apprenant que le Gouvernement du Roi a présenté au Parlement une loi dans ce but. Car nous sommes persuadés que l'Italie ne voudra pas, seule parmi tous les États signataires de la Convention du Mètre, refuser son approbation à une mesure, reconnue généralement comme indispensable, en faveur de laquelle, du reste, elle s'est prononcée dans la Conférence générale.

Veillez agréer, Monsieur l'Ambassadeur, l'assurance de ma plus haute considération.

*Le Secrétaire,*

Signé : D<sup>r</sup> A. HIRSCH.

*A Son Excellence Monsieur le comte Menabrea, Ambassadeur de Sa Majesté le Roi d'Italie, à Paris.*

Le Secrétaire ajoute que, depuis l'échange de cette correspondance, l'Italie a fait connaître sa ratification et a effectué le 11 septembre le versement de sa contribution pour l'exercice courant.

Comme, au mois de juin, il y avait encore cinq autres États qui n'avaient pas transmis au Ministère des Affaires étrangères leurs parts contributives, le bureau du Comité les a priés de bien vouloir donner les ordres pour assurer les ressources nécessaires à la marche régulière de l'établissement international. En ce moment, il ne reste plus que l'Autriche-Hongrie, la Belgique et le Portugal, qui soient en retard pour leurs versements, ce qui représente la somme de 11 513<sup>fr</sup> comme étant encore due sur l'exercice courant.

Le Secrétaire donne enfin connaissance de la dépêche suivante de M. le Chargé d'affaires de Roumanie :

LÉGATION DE ROUMANIE EN FRANCE.

Paris, le 6 août 1891.

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

Le Service central des Poids et Mesures de Roumanie n'ayant pas encore reçu le Mètre étalon en platine dont le Bureau que vous dirigez a accepté la commande, je suis chargé par mon Gouvernement de vous prier de vouloir bien hâter sa livraison.

M. Hepites, directeur du Service central des Poids et Mesures, devant arriver ces jours-ci de Bucharest pour emporter le mètre et le kilogramme prototypes, ainsi que les thermomètres normaux, je vous serais très obligé de me dire si la livraison de ces objets pourra être effectuée dans le courant de ce mois.

Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'assurance de ma haute considération.

*Le Chargé d'affaires de Roumanie,*

C.-S. NANO.

*A Monsieur le Président du Comité international des Poids et Mesures, à Sèvres.*

Après avoir pris quelques renseignements auprès de M. le Directeur, le Secrétaire a répondu en ces termes :

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

Neuchâtel, le 15 août 1891.

MONSIEUR LE CHARGÉ D'AFFAIRES,

J'ai l'honneur de vous accuser réception de votre lettre du 6 août, que vous avez adressée à M. le Président du Comité international des Poids et Mesures, et dans laquelle vous demandez si les prototypes du mètre et du kilogramme, ainsi que les thermomètres normaux, destinés au Gouvernement de Roumanie, pourraient être livrés dans le courant de ce mois à M. Hepites.

Afin d'établir que le retard dans la réception du Mètre étalon, dont le Gouvernement de Roumanie paraît se plaindre, n'est en aucune façon imputable au Comité ou au Bureau international, qu'il

nous soit permis de faire observer d'abord, que la commande des prototypes pour la Roumanie n'a pas été adressée officiellement par le Gouvernement Royal au Comité, mais que M. Hepites en a seulement parlé à M. le Directeur du Bureau international, et que nous avons toujours attendu la confirmation officielle, par l'intermédiaire de Votre Légation, de cette commande, conformément à l'art. 16 du Règlement, annexé à la Convention du Mètre.

Et même la communication officieuse de M. Hepites n'ayant été faite qu'après la sanction et la distribution du premier lot des prototypes par la Conférence générale des Poids et Mesures en 1889, il a fallu comprendre, le mètre du moins, dans une nouvelle série d'établons en platine iridié, que la Section française est occupée, depuis lors, à construire. Or, ces règles viennent seulement d'être remises, il y a quelques semaines, par la Section française au Bureau international, et l'on a commencé immédiatement leur détermination. Comme cette dernière comporte une série d'opérations délicates et compliquées, on ne peut espérer, malgré tous les soins que nous mettons à hâter le travail, de livrer ce mètre prototype à Votre Haut Gouvernement que dans le courant de l'année prochaine. Le moment venu, nous ne manquerons pas d'en aviser Votre Légation, à laquelle, si le Gouvernement Royal le désire, ce prototype pourra être remis directement.

Par contre, le Bureau international possédant encore un certain nombre de prototypes du kilogramme, parfaitement déterminés et sanctionnés, il suffira, pour en choisir un, de procéder à un tirage au sort, ainsi que cela a eu lieu pour les prototypes destinés aux autres Gouvernements. Comme, pour entourer cette formalité de toutes les garanties désirables, il convient que le Gouvernement de Roumanie y soit représenté, Votre Excellence voudra bien faire savoir à M. le Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, à Sèvres, si et à quel jour il vous plairait de venir dans ce but à Breteuil ou d'y déléguer M. Hepites, muni des pouvoirs nécessaires. Le kilogramme prototype qui sera échu à la Roumanie pourra être, ainsi que son certificat, mis immédiatement à votre disposition.

Quant aux thermomètres normaux, destinés à votre pays, ils sont complètement étudiés, et leurs tables de correction sont prêtes. M. Hepites pourra donc les retirer en même temps.

Pour éviter des erreurs, il sera peut-être utile d'ajouter que le prix de revient des prototypes est dû au Gouvernement français qui en a fait les frais de construction, tandis que pour les thermomètres et autres appareils auxiliaires, les frais ont été avancés par le

Comité international et peuvent lui être remboursés par l'intermédiaire du Ministère des Affaires étrangères de France.

Veillez agréer, Monsieur le Chargé d'affaires, l'assurance de ma haute considération.

*Le Secrétaire,*

Signé : D<sup>r</sup> A. HIRSCH.

*A Son Excellence Monsieur Nano, Chargé d'affaires de Roumanie, à Paris.*

A cette occasion, M. Hirsch se permet de faire remarquer, par l'exemple de la Roumanie, l'impatience, du reste naturelle, des États qui attendent encore des prototypes. Il serait donc désirable de s'entendre avec la Section française sur les moyens qui permettront de remplir l'engagement pris vis-à-vis de ces États.

M. BERTRAND répond que, comme Président de la Section française, il ne manquera pas d'user de toute l'influence dont il dispose pour arriver à ce résultat, évidemment si nécessaire, et il espère qu'avec le concours de toutes les bonnes volontés on y parviendra.

M. WILD demande la parole pour la communication suivante :

En ma qualité de Président du Comité international de Météorologie, institué de nouveau par la Conférence météorologique internationale réunie dernièrement à Munich, j'ai l'honneur de faire part au Comité international des Poids et Mesures de deux résolutions de cette Conférence qui le concernent.

En premier lieu, la Conférence a décidé que le baromètre normal du Bureau de Breteuil servira désormais de base pour les équations des baromètres étalons des différents pays.

En second lieu, la Conférence a décidé que, par suite de la comparaison effectuée au Bureau international des Poids et Mesures du thermomètre à alcool avec le thermomètre à hydrogène, les températures doivent être, à l'avenir, exprimées aussi en Météorologie d'après les degrés du thermomètre à hydrogène. La Conférence a

noté des remerciements chaleureux au Comité international des Poids et Mesures pour avoir si promptement répondu au désir de la Conférence météorologique à ce sujet.

J. WILD.

M. le PRÉSIDENT remercie M. Wild de s'être fait l'organe des savants météorologistes, dont les résolutions contribueront évidemment à réaliser l'unification des unités scientifiques aussi dans ce domaine.

M. BERTRAND estime que le moment est venu de procéder à l'élection du Président.

Sur son invitation, le SECRÉTAIRE donne lecture des articles 10 et 12 du Règlement de la Convention, qui fixent les règles à suivre pour cette élection.

Comme le premier alinéa de l'article 10 prescrit le scrutin secret, M. le PRÉSIDENT prie MM. von Lang et Arndtsen de remplir les fonctions de scrutateurs.

Il rappelle que M. von Kruspér a délégué sa voix à M. Hirsch qui, par conséquent, a le droit de déposer deux bulletins dans l'urne.

M. GOULD demande qu'avant le vote le Secrétaire veuille bien donner connaissance d'une lettre qu'il vient de recevoir de M. Stas, et qui se rapporte à l'élection à laquelle on va procéder.

Saint-Gilles, le 10 septembre 1891.

MON CHER ET ILLUSTRE COLLÈGUE,

Dans une lettre du 6 de ce mois, datée de Gossensass, notre excellent ami M. Foerster me prie de vous adresser une réponse à une proposition qu'il me fait en votre nom, au nom de notre Collègue M. Wild et en son nom, de proposer ma candidature à la présidence du Comité international, devenue vacante par le décès de notre illustre Collègue Ibañez. Je suis profondément touché d'une offre venant de Collègues aussi haut placés dans la Science et je ne saurais

assez vous en exprimer mes sentiments de gratitude. Mais, tout en vous étant reconnaissant au delà de toute expression de l'honneur que vous voulez me conférer, je suis obligé de vous faire savoir qu'il me serait impossible d'occuper convenablement cette haute position. A mon avis, cette charge honorifique doit être imposée, non pas à un spécialiste comme moi, mais à un savant réunissant un ensemble de connaissances qui me font absolument défaut.

En dehors de cette considération, il y en a une autre que je dois faire valoir. Je suis entré dans ma soixante-dix-neuvième année; de plus, je suis atteint d'une maladie de larynx, laquelle, par les souffrances qu'elle occasionne, empêche parfois tout travail sérieux.

Dans ces conditions, la prudence la plus élémentaire m'impose le devoir de ne pas accepter une charge que je ne pourrais pas remplir convenablement.

Parmi nos Collègues, nous avons le bonheur de posséder un homme qui, par son caractère, sa haute position officielle et scientifique, les services éminents qu'il a rendus à l'institution qu'il a aidé à créer et à faire prospérer, est tout désigné pour occuper honorablement, dignement la position de président du Comité international. Ce Collègue est notre ami M. *Foerster*. Je me permets de vous prier de mettre sa candidature en avant, et de dire en mon nom à nos collègues du Comité que la nomination de M. *Foerster* s'impose à tous les points de vue.

Notre collègue et ami M. *Hirsch* vous fera connaître les motifs qui m'empêchent d'être présent aux réunions du Comité. Je puis être à Paris soit le 18, soit le 22, et je suis prêt à me joindre un de ces jours à nos amis pour venir voter en faveur de M. *Foerster*.

Je vous prie, mon cher et illustre Collègue, d'agréer et de faire agréer par nos Collègues, MM. *Foerster* et *Wild*, tous mes sentiments de gratitude pour l'honneur que vous et eux m'avez fait en m'offrant de poser ma candidature à la présidence du Comité international. Je reste, avec les sentiments de la plus haute et la plus affectueuse considération, votre tout dévoué collègue,

Signé : J.-S. STAS.

*A Monsieur le Docteur B.-A. Gould, à Paris.*

Le SECRÉTAIRE ajoute que, dans une lettre ultérieure, arrivée hier, M. Stas, au regret de ses amis, annonce qu'il est obligé de renoncer à son espoir de venir à Paris.

M. le PRÉSIDENT trouve dans la lettre qui vient d'être lue des indications précieuses dont les membres du Comité tiendront compte selon leur conscience.

Il déclare le scrutin ouvert et fait recueillir les bulletins, dont le dépouillement donne le résultat suivant :

M. FOERSTER, onze voix.

M. WILD, une voix.

En conséquence, M. BERTRAND proclame M. FOERSTER élu Président du Comité international des Poids et Mesures ; il est heureux de lui céder le fauteuil présidentiel.

M. FOERSTER, Président, se déclare profondément touché par la confiance que ses Collègues viennent de lui témoigner. Sans se dissimuler la difficulté de réunir les nombreuses qualités exigées par ces fonctions, et auxquelles son illustre et digne prédécesseur avait habitué le Comité, il consacrera tous ses efforts à l'accomplissement de sa mission, et il espère y réussir avec le concours bienveillant de ses collègues. Il remercie M. Bertrand d'avoir bien voulu mettre sa grande expérience au service du Comité pour diriger les débats de ses deux premières séances.

M. BERTRAND répond qu'il a été honoré d'avoir pris place un moment dans un fauteuil toujours si dignement occupé.

M. le PRÉSIDENT donne la parole à M. Benoit pour compléter par quelques détails la communication des résultats qu'il a mentionnés dans son rapport, et qu'il a obtenus par l'étude comparative de la Toise du Pérou, de celle de Bessel et de la Toise n° 9, par rapport au Mètre international.

En attendant la publication complète de cet important travail, voici les résultats principaux auxquels on est parvenu :

*Toise du Pérou.*

Longueur à 16°, 25.	} Toise à points.....	1949 <sup>mm</sup> ,001
		Toise à bouts.....
Coefficient de dilatation.....		0,000 011 56

*Toise de Bessel.*

Longueur à 16°, 25. ....	1949 <sup>mm</sup> ,061
Coefficient de dilatation. ....	0,000 011 60

*Toise n° 9.*

Longueur à 16°, 25. ....	1949 <sup>mm</sup> ,067
Coefficient de dilatation. ....	0,000 011 06

En raison du rôle prépondérant que la Toise de Bessel a joué dans les opérations géodésiques de l'Europe, il importe surtout d'insister sur la nouvelle détermination de cet étalon. Jusqu'à présent on avait admis pour son équation — 1<sup>u</sup>,8, et comme le rapport légal de la Toise au Mètre est 1,949 036 6, il en résulterait, pour la longueur de la Toise de Bessel jusqu'à présent, la valeur

$$1,949\ 034\ 8.$$

Or, la nouvelle détermination lui attribue la valeur

$$1,949\ 061.$$

qui est exacte à  $\pm 1^u$  ou  $2^u$  près.

Cette nouvelle valeur diffère donc de l'ancienne de

$$26^u, 2 = \frac{1}{74\ 000},$$

quantité dont toutes les longueurs géodésiques mesurées avec cette Toise doivent être augmentées, pour être exprimées en mètres.

M. HIRSCH apprécie hautement la grande importance de la communication qu'on vient d'entendre, surtout pour les géodésiens, dont une des principales préoccupations se trouve ainsi presque complètement écartée. En effet, lorsqu'il y a vingt-cinq ans, l'Association géodésique interna-

tionale a tenté de réunir les principales triangulations des différents pays d'Europe, pour en déduire les arcs de méridiens et de parallèles, on a rencontré, dans la jonction des réseaux limitrophes, des contradictions systématiques qui ont éveillé le soupçon qu'elles devaient être attribuées essentiellement à l'incertitude des équations entre les unités de longueur qui avaient servi à mesurer les bases dans les différents pays, surtout entre les principales toises classiques et les différents étalons du mètre. Comme M. Hirsch l'a fait remarquer déjà dernièrement, c'est précisément le besoin de porter la lumière sur ce point obscur et de si haute importance, qui a fait naître dans l'Association géodésique le projet de fonder un établissement métrologique international, capable d'établir rigoureusement les équations des anciennes et des nouvelles unités géodésiques. La lumière est maintenant faite, et les géodésiens qui se réuniront dans quelques semaines à Florence seront certainement heureux de prendre connaissance des importants résultats que M. Benoît vient d'exposer. Il désirerait donc que M. Benoît trouvât encore le temps de rédiger définitivement sa communication, afin qu'il fût possible de la présenter à la Conférence géodésique de Florence, qui s'empressera sans doute de la publier dans ses Comptes rendus. Aux yeux de M. Hirsch, cela ne devrait pas empêcher de publier cet important travail de M. Benoît également dans un des prochains volumes des *Travaux et Mémoires* du Bureau.

M. FOERSTER s'associe entièrement à l'appréciation faite par M. Hirsch de ces importants résultats, d'autant plus qu'ils s'accordent remarquablement avec certaines recherches que M. Helmert a exécutées de son côté sur le même sujet. Il appuie également le vœu exprimé par M. Hirsch qui, du reste, ne serait que la réalisation d'une décision prise par le Comité l'année dernière, conformément à l'avis de la Commission des instruments et des travaux, et dont il donne lecture. (Voir *Procès-Verbaux* de 1890, p. 65 à 67.)

M. BENOÎT espère pouvoir donner satisfaction à la demande qui vient d'être émise.

Le **SECRETARE** donne connaissance d'une lettre qu'il a reçue de M. Chaney, dans laquelle ce dernier annonce qu'il est malheureusement obligé de retourner dès lundi 21 septembre dans son pays. Pour la prochaine session, M. Chaney prendra ses dispositions pour participer jusqu'au bout aux séances du Comité.

M. HIRSCH, en regrettant que le nouveau membre du Comité n'ait pas plus de temps à consacrer à la présente session, désire qu'en tout cas M. Chaney puisse assister encore à la délibération au sein du Comité sur le droit réclamé par l'Angleterre de se retirer de la Convention un an après en avoir fait la déclaration. Comme, dans sa dernière réponse au Gouvernement anglais, le Secrétaire a pris l'engagement de soumettre cette question au Comité dans la session actuelle, il propose donc de la traiter dans la prochaine séance, à laquelle M. Chaney pourra encore assister. De cette manière, il y aurait encore plus de chance d'arriver à une solution satisfaisante.

M. le **PRÉSIDENT** partage cet avis, et met ce sujet à l'ordre du jour de la prochaine séance, qu'il fixe à samedi 19 septembre, à 2 heures.

Sur le désir exprimé par quelques membres que cette séance puisse avoir lieu à Paris, il est décidé qu'on se réunira ce jour-là dans le cabinet du Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, que M. Bertrand a la complaisance de mettre de nouveau à la disposition du Comité.

La séance est levée à 4 heures.

---

---

## PROCÈS-VERBAL

DE LA QUATRIÈME SÉANCE,

Samedi 19 septembre 1891.

PRÉSIDENTE DE M. FOERSTER.

---

Sont présents :

**MM. ARNDTSEN, BENOIT, BERTRAND, CHANEY, GOULD, HIRSCH,  
VON LANG, DE MACEDO, THALÉN, WILD.**

La séance est ouverte à deux heures.

Le procès-verbal de la troisième séance est lu et adopté sans observations.

**M. le PRÉSIDENT**, rappelant qu'il a été convenu de traiter dans cette séance la question soulevée par l'Angleterre, afin de profiter pour sa solution de la présence du collègue anglais, prie le Secrétaire de donner connaissance du projet de résolution que le bureau, après avoir pressenti **M. Chaney**, a élaboré pour le soumettre au Comité.

Le **SECRETARE**, après avoir résumé en quelques mots l'état de la question, d'après la dernière correspondance échangée avec le Gouvernement britannique et publiée dans le

quatorzième *Rapport aux Gouvernements*, lit le projet suivant :

Le Comité international des Poids et Mesures, appelé à se prononcer sur la question soulevée par l'Angleterre, de la faculté qu'elle réclame pour elle, de pouvoir se retirer de la Convention du Mètre, après avoir averti le Comité de son intention douze mois à l'avance;

Tout en maintenant les points de vue de droit défendus en son nom par son bureau dans la correspondance échangée sur ce sujet avec le Gouvernement anglais;

Tout en réservant formellement les décisions des Gouvernements contractants sur la question;

Tout en affirmant qu'il entend ne pas créer de précédent par sa résolution sur ce cas spécial;

Mais, d'autre part, considérant l'insistance avec laquelle le Gouvernement de la Grande-Bretagne a réclamé à diverses reprises le droit de se retirer, à l'égal des autres États, après dénonciation d'un an;

Considérant que l'esprit de l'article 13 de la Convention, selon lequel les Parties contractantes peuvent dénoncer la Convention après un terme de douze années, serait moins lésé par la sortie éventuelle de l'Angleterre, maintenant qu'elle a appartenu pendant 8 ans à la Convention, qu'il ne l'eût été lorsqu'elle en a parlé il y a 5 ans pour la première fois;

Considérant que non seulement les déclarations formelles répétées à plusieurs reprises par le Gouvernement anglais, qu'il n'a pas l'intention d'user actuellement de cette faculté, mais que la force des choses elle-même donne l'assurance que la Grande-Bretagne continuera à faire partie de la Convention du Mètre; car la communauté des unités des Poids et Mesures, obtenue par la distribution de prototypes identiques, et qui peut et doit être développée encore davantage dans l'avenir, présente aussi pour la science et la technique anglaises une importance telle qu'on ne saurait concevoir que l'Angleterre voulût compromettre ces avantages en se retirant de la Convention;

Considérant enfin que les comparaisons et vérifications périodiques stipulées par la Convention constituent une des garanties essentielles de l'invariabilité et de l'identité des Poids et Mesures,

et que l'Angleterre en se retirant renoncerait à ce précieux contrôle ;

Déclare :

Si, malgré toutes ces considérations, la Grande-Bretagne vient à dénoncer la Convention, le Comité ne fera pas d'opposition pour sa part, et transmettra cette dénonciation aux Gouvernements des Hautes Parties contractantes.

M. DE MACEDO avoue qu'il ne saisit pas clairement la situation qui serait créée au Comité par cette résolution. En effet, la Grande-Bretagne a conclu une Convention diplomatique avec un certain nombre d'autres Puissances ; si elle veut s'en retirer et croit en avoir le droit, elle devrait en nantir directement ses co-signataires par voie diplomatique. Puisque le Gouvernement anglais a déclaré à plusieurs reprises n'avoir pas l'intention de dénoncer la Convention, on comprend mal son insistance à demander au Comité de lui servir d'intermédiaire pour une pareille démarche. Le Comité étant un organe créé par cette Convention n'a pas compétence pour la modifier ni même l'interpréter, ce qui appartient uniquement aux Gouvernements eux-mêmes. Sans vouloir faire d'opposition formelle à la résolution proposée, M. de Macedo aimerait à être éclairé sur la portée de la demande de l'Angleterre.

M. WILD appuie la rédaction proposée, qui lui semble parfaite aussi bien dans la conclusion que dans les motifs invoqués. Comme l'Angleterre est revenue de nouveau sur son point de vue, malgré toutes les objections formulées à plusieurs reprises par le bureau du Comité, on ne pouvait pas répéter utilement ces dernières, et cependant, tout en faisant la concession proposée par le projet de résolution, il était indiqué de résumer de nouveau tous les arguments qui doivent engager l'Angleterre à continuer de faire partie de la Convention.

M. CHANEY déclare que toute cette question a été soulevée

dans son pays uniquement comme un point de droit par les avocats de la Couronne, qui ont exprimé au Gouvernement l'avis que l'Angleterre a le même droit que les autres pays de se retirer de la Convention un an après l'avoir dénoncée, et que le Comité qui a servi d'intermédiaire pour son adhésion doit également servir d'intermédiaire pour sa dénonciation. Le Département du Commerce et l'Administration des Poids et Mesures sont restés complètement étrangers à ces démarches.

M. HIRSCH fait observer que le point de vue exposé par M. de Macedo a été exactement celui que le bureau du Comité a soutenu dans ses réponses, et que cette manière de voir se trouve expressément maintenue dans les considérants de la résolution proposée. Le seul point sur lequel celle-ci diffère des anciennes réponses est que le Comité promet de transmettre éventuellement la dénonciation de l'Angleterre aux Gouvernements, dont tous les droits sont formellement réservés, sans revenir de nouveau sur les arguments qui, au point de vue du Comité, pourraient être opposés à une telle démarche. M. Hirsch ajoute que le texte de la résolution est le résultat d'un mûr examen de la situation et d'entretiens que M. le Président a eus avec notre collègue anglais, de sorte qu'on peut espérer qu'elle offre une transaction acceptable.

M. CHANEY est convaincu que le Gouvernement de la Grande-Bretagne considérera cette réponse comme la meilleure solution de la difficulté. Après son retour en Angleterre, il appuiera auprès de son Gouvernement tous les arguments qui, à ses yeux aussi, militent en faveur de la continuation des rapports avec l'organisation internationale, dont personnellement il apprécie hautement l'importance pour l'Angleterre.

M. le PRÉSIDENT déclare la discussion close et met aux voix la résolution, qui est adoptée à l'unanimité.

Le bureau s'empresera d'en donner connaissance au Gouvernement anglais.

M. THALÉN, à la demande de M. le Président, invite M. WILD à lire le rapport de la Commission des instruments et des travaux. Voici ce document :

### Rapport de la Commission des travaux et instruments.

1. BATIMENTS. — Il paraît nécessaire de réparer et peindre à nouveau le laboratoire de Physique du côté Sud, ce qui demanderait, d'après l'évaluation de M. le Directeur, une somme de 400<sup>fr</sup>.

Pour pouvoir diminuer l'humidité dans les salles d'observation et en régler assez vite la température, il faudrait, selon la proposition de M. le Directeur, mettre dans trois salles de petits fourneaux à gaz, qui coûteront, avec leur installation, environ 250<sup>fr</sup>.

Il a paru à la Commission que le réglage, et surtout le maintien d'une température constante dans les salles d'observation, doit beaucoup souffrir de la circonstance que dans le corridor entourant ces salles il n'y a pas de doubles fenêtres ni de doubles portes, pas plus que dans les laboratoires de Physique. Il serait désirable qu'on remédiât successivement à cet inconvénient aussitôt que les finances le permettraient. M. le Directeur est invité à faire établir un devis pour cette amélioration.

Il y aurait ensuite à faire des réparations, aussitôt que possible, aux murs et au plafond de la salle des Conférences, de son antichambre et des corridors et escaliers avoisinants. D'après un devis fait concernant ces travaux, cette réparation exigerait 2000<sup>fr</sup> environ.

Enfin, il y aurait à pourvoir à une nouvelle clôture de l'enceinte, surtout du côté de la colline, où elle tombe presque complètement en ruine.

### 2. INSTRUMENTS :

1° *Thermométrie*. — M. Guillaume a présenté à la Commission plusieurs améliorations des thermomètres à mercure, et surtout une *nouvelle forme des hypsothermomètres*, qui méritent l'attention des savants intéressés.

Il faudrait allouer une somme d'environ 250<sup>fr</sup> à cette section

pour pouvoir renouveler l'auge pour la comparaison des thermomètres, et pour refaire l'appareil servant à déterminer le point d'ébullition de l'eau.

Quant aux études sur les résistances électriques entreprises dans le but de se renseigner sur la question de la *mesure de la température par les procédés électriques*, M. Guillaume a mis sous les yeux de la Commission les appareils qui lui ont permis de déterminer l'année passée, pour la seconde fois, mais d'une manière plus exacte, la variation de la conductibilité électrique du mercure avec la température.

M. Guillaume présentera sur ces travaux un rapport spécial comme annexe au rapport du Directeur.

M. Chappuis a présenté à la Commission les appareils avec lesquels il a déterminé la dilatation du mercure et de l'eau, ainsi que les installations servant à comparer, à de basses températures, les thermomètres à alcool et à toluène avec le thermomètre à hydrogène.

Il présentera également sur ce sujet un rapport spécial qui sera annexé au rapport du Directeur.

2° *Barométrie*. — La Commission a constaté avec une grande satisfaction que, conformément au rapport de M. le Directeur, le baromètre normal I (dit Wild-Pernet) ainsi que le baromètre normal II (dit Marek) ont été améliorés et mis en parfait état de fonctionnement. De cette manière, les comparaisons systématiques entre ces deux baromètres normaux et le baromètre normal III (dit Chappuis) pourront être commencées sans retard, au moyen d'un baromètre transportable, à siphon, de premier ordre, qui vient d'être construit.

Pour les comparaisons courantes des baromètres étalons qui seront soumis à la vérification du Bureau, on pourra se servir du baromètre auxiliaire n° 3, lequel a été également perfectionné dans ces derniers temps.

La pesanteur ayant été déterminée par M. le Commandant Deforges, à Breteuil même, la Commission propose de publier, comme annexe aux *Procès-Verbaux*, un résumé du mémoire du Commandant Deforges sur cette détermination et de marquer, par un repère fixé sur le pilier, dans la salle du comparateur universel, la hauteur à laquelle se rapporte cette donnée importante.

3° *Balances et Poids*. — La Commission a examiné la balance de

Rueprecht, de la portée de 5<sup>kg</sup>, que le Bureau a achetée de M. Louguine pour 700<sup>fr</sup>; elle a trouvé qu'elle correspond parfaitement à son but de servir aux pesées hydrostatiques. Cette acquisition que, vu son prix réduit, on peut presque considérer comme un don, rendra des services très utiles lors de la détermination du poids d'un décimètre cube d'eau.

Quant à la commande d'une seconde balance plus grande, d'une portée de 20<sup>kg</sup>, destinée également entre autres aussi aux pesées hydrostatiques, M. le Directeur est entré en pourparlers à ce sujet avec M. Rueprecht, selon le désir du Comité, et a soumis à la Commission les conditions du constructeur. Avec tous les accessoires, une telle balance de premier ordre coûterait environ 9200<sup>fr</sup>. La Commission propose que la commande en soit faite aussitôt que l'état de nos finances le permettra, et qu'un projet détaillé des recherches sur le poids d'un décimètre cube d'eau sera élaboré.

Conformément à la proposition de M. le Directeur, contenue dans son rapport, la Commission trouve qu'il serait utile de procéder prochainement à une revision successive de nos balances par les constructeurs.

4° *Comparateurs et mesures de longueur.* — M. le Directeur s'est occupé depuis l'année dernière, conformément à la décision du Comité, de la question de l'acquisition pour le Bureau d'un étalon géodésique de 4<sup>m</sup> en platine iridié. MM. Johnson, Matthey et C<sup>ie</sup> demandent pour une pareille règle, d'une section à peu près égale à celle du mètre prototype, la somme de 60 000<sup>fr</sup> à 63 000<sup>fr</sup>. La Commission partage l'opinion de M. le Directeur qu'une telle règle, abstraction faite de son prix énorme, ne constituerait point, en raison de sa flexibilité, un étalon géodésique invariable; elle croit qu'il vaudrait mieux faire construire deux ou trois règles d'un autre métal approprié, d'une section suffisante, munies de mouches en platine placées de mètre en mètre. Ces règles devraient être vérifiées de temps en temps au moyen du mètre prototype. *En conséquence, la Commission propose que le bureau du Comité, après quelques expériences préliminaires à faire par M. le Directeur, sur la meilleure forme et matière à employer, fasse d'abord construire deux règles de 4<sup>m</sup> en métal approprié avec mouches en platine placées de mètre en mètre.*

3. BIBLIOTHÈQUE, ÉCHANGE ET VENTE DE PUBLICATIONS. — La Commission propose, en raison des renseignements fournis par M. le

Directeur dans son rapport, d'acheter pour notre bibliothèque, au prix de 60<sup>fr</sup>, le choix de livres que M. Jervis a fait dans la bibliothèque de son père.

La Commission, vu la quantité assez considérable d'exemplaires de nos *Procès-Verbaux* qui sont encore à la disposition du Comité, croit qu'il serait utile d'autoriser le bureau du Comité à faire des démarches pour faciliter la vente des volumes dans lesquels sont insérés les travaux de M. Stas et de Sainte-Claire Deville.

Enfin, la Commission trouve nécessaire de revoir encore pendant cette session la liste de la distribution de nos publications, afin d'y apporter peut-être quelques modifications dans l'intérêt d'un échange plus étendu.

Comme le dépôt de nos publications chez M. Gauthier-Villars commence à s'épuiser pour quelques-unes d'entre elles, la Commission propose qu'on fasse rentrer dès à présent du dépôt 30 exemplaires de chaque publication pour en former au Pavillon de Breteuil un dépôt à part séparé de celui destiné à la vente.

4. TRAVAUX ET PUBLICATIONS. — Afin d'assurer aux travaux du Bureau une marche régulière et conforme aux intentions du Comité, et pour faciliter à son personnel l'accomplissement des tâches nombreuses et variées qui lui incombent, la Commission a trouvé nécessaire de classer, d'après leur importance, les travaux à faire dans le courant de l'année prochaine, afin d'assurer l'exécution de ceux qui figurent en tête du programme. En conséquence, la Commission propose l'ordre suivant des travaux qui sont prévus pour l'année prochaine :

1° Achever, si possible, la publication des *Comparaisons des mètres et kilogrammes prototypes*. M. le Directeur a fourni à cet égard les renseignements suivants : Le tome VIII, contenant la première partie des *Comparaisons des kilogrammes*, est actuellement presque tout à fait imprimé. Le manuscrit pour le tome IX, qui contiendra la suite et la fin de ces *Comparaisons*, est prêt, et il ne dépendra que de M. Thiesen, qui est chargé de la correction des épreuves, de pouvoir en achever l'impression dans le courant de l'année prochaine. Dans le cas où M. Thiesen serait empêché dans l'accomplissement de cet engagement pris par lui, le manuscrit sera imprimé sans son concours. Le tome X, qui renfermera les *Comparaisons des prototypes du mètre* et sera rédigé par M. le Directeur lui-même et par M. Guillaume, pourra être imprimé en même temps que le tome IX.

2° Comparer entre eux et avec le mètre prototype internatio-

nal les 8 mètres prototypes à traits, qui sont encore à livrer à quelques pays, et en outre le mètre en platine iridié tracé à nouveau pour le Bureau.

3° Achever la vérification des trois règles en fer de 4 mètres, commandées dans le temps par M. Broch pour la République Argentine, la Suède et la Norvège.

4° Comparaison entre eux des trois baromètres normaux.

5° Nouvelles études sur la dilatation de l'alcool et surtout du toluène, et comparaisons à des températures très basses de ces thermomètres avec le thermomètre à hydrogène.

6° Études préparatoires pour la détermination du poids d'un décimètre cube d'eau.

7° Continuation des études sur le bronze d'aluminium, surtout au point de vue de la possibilité de tracer les divisions sur le métal même de la règle, sans avoir recours à des lames incrustées en or, platine ou argent.

Tous les autres travaux non prévus ici, comme les vérifications des étalons des différentes sortes, qui pourront être demandées, soit par des gouvernements, soit par des savants, artistes ou institutions privées, doivent être relégués au second plan. Ce n'est que pour la vérification des thermomètres qu'une exception peut être faite, avec la permission du bureau du Comité, parce que, d'après les expériences acquises, ces vérifications n'empiètent pas sensiblement sur les autres travaux du Bureau.

La question des changements à apporter au règlement pour les vérifications a été renvoyée à l'étude d'une Commission spéciale, composée de MM. *Benoît*, *Chaney* et *Wild*, qui présentera son projet directement au Comité.

*Le Président,*

Signé : ROB. THALÉN.

*Le Rapporteur,*

Signé : H. WILD.

Les différentes propositions de ce rapport sont successivement discutées et soumises au vote du Comité.

En ce qui concerne les améliorations pour les salles d'observation, M. le Directeur espère être dans quelques jours en mesure d'en présenter le devis. Comme la Commission a demandé des indications sur d'autres améliorations nécessaires, il signale l'état de la clôture en planches de l'enceinte qui menace ruine, surtout du côté de la colline

Nord; mais il croit qu'on pourrait la conserver, au moyen de quelques réparations, pour plusieurs années encore, pendant lesquelles on établirait une haie vive, destinée à remplacer définitivement la clôture actuelle. Il y aurait donc un crédit à prévoir pour cet entretien et l'achat des plants.

M. le Directeur fait observer en outre qu'il y a quelques mesures à prendre pour le chauffage de l'atelier.

Ainsi complétées, les diverses résolutions ayant trait aux bâtiments sont adoptées à l'unanimité.

Il en est de même de celles se rapportant à la thermométrie, aux baromètres et aux balances et poids.

Au sujet de la décision concernant la détermination de la pesanteur, exécutée dans le temps par M. le Commandant Defforges, le Secrétaire fera les démarches nécessaires auprès de M. Defforges, et il espère que son mémoire pourra être annexé aux *Procès-Verbaux* de cette session.

Au sujet du passage touchant l'acquisition d'une règle type pour le comparateur géodésique, M. HIRSCH ne partage pas complètement les craintes de la Commission quant à la flexibilité d'une règle de 4<sup>m</sup>, même si elle était en platine iridié; car, cette règle étant destinée à rester en place sur ses supports nivelés dans le comparateur, il n'y aurait pas de modifications de longueur à redouter; d'ailleurs l'indication du prix de revient lui suffit pour qu'à son avis aussi il ne puisse pas être question, au moins pour le moment, de l'achat d'une semblable règle.

Mais il désirerait qu'on profitât des expériences faites avec les deux règles en fer que l'on possède, et qu'on se décidât cette fois pour un alliage ou un métal résistant mieux aux bains dans lesquels les comparaisons doivent avoir lieu, par exemple le ferro-nickel, dont a parlé M. Benoît, et sur lequel il serait désirable qu'il continuât ses études.

Avec cette modification, le Comité adopte la proposition de la Commission.

La partie du rapport concernant la bibliothèque et les publications du Comité est adoptée sans modifications.

Sur l'état d'avancement de l'impression du tome VIII des *Travaux et Mémoires*, M. le Directeur fournit les renseignements suivants :

Sont en épreuves :	30 feuilles du <i>Journal d'observations</i> ...	240 p.
»	9 feuilles de texte et d'introduction...	72
Tirées :	19 feuilles du <i>Journal d'observations</i> ...	152

On voit que le tome VIII sera assez volumineux, et qu'il est déjà bien avancé.

Quant au passage du rapport concernant le tome IX, dont la publication ne dépendrait plus que de la correction des épreuves par M. Thiesen, M. HIRSCH considère que si M. Thiesen est empêché par des causes quelconques d'exécuter ce travail régulièrement, comme il en a pris l'engagement formel, le Comité devra y pourvoir autrement.

M. BENOÎT estime que, dans l'intérêt même de la publication et de son exactitude, il serait cependant désirable que l'auteur de ces travaux, qui est le mieux au fait de tous les détails, soignât également la correction des épreuves.

M. FOERSTER, pour avancer le travail de correction de M. Thiesen, lui a déjà procuré des aides; il se propose de le faire encore, de sorte qu'il espère que les retards fâcheux dont on s'est plaint avec raison ne se reproduiront plus; mais si cet espoir était déçu, il est, comme M. Hirsch, d'avis qu'il faudrait se passer de M. Thiesen.

A propos du programme des travaux, M. le DIRECTEUR demande s'il ne conviendrait pas d'y ajouter la suite des études sur les déterminations thermométriques par les résistances électriques.

M. le PRÉSIDENT répond que le Comité prendra une décision à cet égard lorsqu'il aura sous les yeux le rapport spé-

cial de M. Guillaume sur ces études, qui doit figurer comme annexe au rapport du Directeur.

M. HIRSCH propose de comprendre dans le programme également les travaux que le Bureau devra exécuter sur les prototypes à bouts, suivant l'état d'avancement de leur construction par la Section française.

Avec ces diverses adjonctions et observations, le programme des travaux est adopté.

M. le PRÉSIDENT prie M. Wild de donner connaissance de l'avant-projet de la Sous-Commission chargée d'élaborer le règlement des taxes pour les vérifications d'étalons par le Bureau. Il fait remarquer qu'il ne s'agira pas aujourd'hui d'en voter les conclusions, mais simplement de provoquer un échange d'idées, dont la Sous-Commission pourra profiter pour son rapport définitif, qu'elle présentera dans la prochaine séance.

Il importe de soumettre aujourd'hui cette question à une première discussion, d'autant plus que le Comité profite encore de la présence de M. Chaney.

M. WILD, après avoir donné lecture de cet avant-projet, explique qu'il repose sur les principes essentiels suivants :

1° Le Bureau est tenu de fournir gratuitement aux Gouvernements signataires de la Convention les vérifications qu'ils demanderont au Comité pour des étalons appartenant soit à leurs bureaux métrologiques, soit à d'autres institutions scientifiques nationales;

2° Pour les autres vérifications d'étalons appartenant à des établissements scientifiques, à des savants ou à des artistes constructeurs, les taxes sont calculées de façon à correspondre à peu près aux frais spécialement occasionnés par ces travaux ;

3° Pour les demandes provenant de pays qui n'ont pas adhéré à la Convention, les taxes seront doublées.

M. le DIRECTEUR croit utile, comme cela a déjà été décidé dans la dernière session, de faire précéder le règlement des taxes par l'énumération des conditions que les étalons, thermomètres, etc., doivent remplir pour que le Bureau puisse accepter d'en faire l'étude. Il ajoute que les frais dont il a fourni les éléments à la Sous-Commission reposent sur une expérience de plusieurs années, et que les taxes qui en sont déduites dans le projet restent d'ailleurs au-dessous de celles perçues par le Service métrologique de la Grande-Bretagne.

M. le PRÉSIDENT rappelle la délibération qui a eu lieu l'année dernière sur le même sujet (voir *Procès-Verbaux* de 1890, 5<sup>e</sup> séance, p. 82 à 85), et dans laquelle ont été déjà indiqués à peu près les mêmes principes que ceux auxquels la Sous-Commission propose actuellement de s'arrêter. Toutefois on a décidé alors que le relèvement des taxes se ferait avec modération, pour qu'elles représentent à peu près l'ensemble des dépenses directes et spéciales occasionnées au Bureau par chacune de ces opérations.

M. GOULD tient à appuyer le projet de taxes élaboré par la Sous-Commission avec l'aide de M. le Directeur, qui a pu fournir sur les frais spéciaux des étalonnages des données plus détaillées et plus précises qu'on ne l'aurait cru possible. La taxe double pour les pays qui n'ont contribué ni à organiser le Bureau ni à l'entretenir se justifie largement par la considération qu'on met au service de ces vérifications un outillage et un personnel dont les États signataires supportent tous les frais. Enfin, à ses yeux, il importe surtout que ces taxes aient pour effet de laisser aux fonctionnaires du Bureau le temps nécessaire pour les études fondamentales et les travaux scientifiques de métrologie.

M. le PRÉSIDENT renvoie le dépôt du projet définitif et le

vote sur cette question des taxes à la prochaine séance, qu'il fixe à mercredi 23, à 2 heures, au Pavillon de Breteuil.

Après avoir remercié M. Bertrand de l'hospitalité qu'il a bien voulu accorder une fois de plus au Comité, M. le Président lève la séance à 4 heures et demie.



---

## PROCÈS-VERBAL

DE LA CINQUIÈME SÉANCE,

Mercredi 23 septembre 1891.

PRÉSIDENCE DE M. FOERSTER.

---

La séance est ouverte à 2 heures et demie.

Sont présents :

MM. ARNDTSEN, BENOÎT, BERTRAND, GOULD, VON LANG, DE MACEDO, THALÉN et WILD.

M. le PRÉSIDENT annonce que M. Hirsch empêché se fait excuser de ne pouvoir assister à la séance. La lecture du dernier procès-verbal est renvoyée à la prochaine séance.

M. le PRÉSIDENT fait savoir que le Secrétaire a reçu de la Légation du Mexique à Paris une dépêche par laquelle elle annonce que la contribution d'entrée de cet État sera envoyée au mois d'octobre prochain, et que le prototype demandé par son Gouvernement est celui d'un mètre à traits.

M. le PRÉSIDENT fait remarquer que la somme de 22 335<sup>fr</sup> se trouvera ainsi acquise au Compte I et profitera, suivant

les dispositions de la Convention, à l'amélioration du matériel scientifique.

M. le PRÉSIDENT invite la Commission des instruments et des travaux à donner connaissance du projet de Règlement concernant les taxes.

M. WILD, rapporteur, lit le document suivant, qui doit remplacer l'ancien Règlement et la circulaire s'y rapportant :

#### Circulaire.

Le Comité international des Poids et Mesures s'est occupé, déjà anciennement, d'exécuter les dispositions de la Convention concernant les vérifications, par le Bureau international, des étalons de longueur et de poids, ainsi que des thermomètres et des baromètres de précision, appartenant à des établissements ou sociétés scientifiques, à des savants ou à des constructeurs. Les conditions auxquelles cette admission pouvait avoir lieu, ainsi que les taxes fixées pour les diverses sortes d'études qui pouvaient être demandées, ont été établies par un Règlement en date du 4 octobre 1882 (voir *Procès-Verbaux* de 1882, p. 75, etc.), qui a été communiqué par circulaire du 10 avril 1884 (voir *Procès-Verbaux* de 1884, p. 12) à tous ceux que cette décision devait intéresser.

Comme on peut s'en rendre compte par les rapports adressés chaque année par le Comité international aux Gouvernements signataires de la Convention du Mètre, de très nombreuses demandes se sont en effet produites et ont été accueillies depuis cette époque. Les études exécutées pour y satisfaire ont constitué, en dehors des travaux en quelque sorte officiels et obligés du Bureau, une part importante de son activité scientifique; ils l'ont amené à créer, en thermométrie notamment, un véritable service régulier, avec un matériel et un personnel supplémentaires, spécialement affectés aux travaux de premier ordre de cette catégorie.

L'expérience acquise pendant plusieurs années consécutives sur le fonctionnement de ce service, une appréciation plus nette des besoins que, dans cet ordre d'idées, l'institution internationale peut être appelée à satisfaire, ainsi que des obligations qui en résultent, et, en outre, les modifications introduites, sur un certain nombre de

points, dans les procédés d'études, ont amené le Comité à examiner l'opportunité d'une revision de ce Règlement pour la vérification des étalons de poids et mesures et des instruments auxiliaires. Après discussion approfondie de la question, pendant les deux sessions de 1890 et 1891, le Comité a décidé d'adopter, pour servir de base à cette revision, les principes suivants :

En premier lieu, d'une manière générale, le Bureau n'accepte que des vérifications de haute précision et ne se charge pas des travaux qui rentreraient naturellement dans les attributions des Bureaux ou Instituts des Poids et Mesures des divers pays, ou qui pourraient être exécutés dans les laboratoires de Physique, avec les moyens dont ceux-ci disposent habituellement. Les objets qui sont soumis à son examen doivent être des étalons de premier ordre, réunissant toutes les conditions que la construction moderne permet de réaliser pour obtenir dans les résultats des mesures le plus haut degré d'exactitude possible. Il n'est fait d'exception à cette règle, à l'égard des objets de construction ancienne, que pour ceux qui présentent un intérêt historique ou scientifique important. Les conditions que doivent remplir les objets des diverses catégories sont spécifiées en détail dans le Règlement ci-après; le Directeur du Bureau, d'accord avec le bureau du Comité, reste d'ailleurs maître de juger, dans chaque cas, si ces conditions sont suffisamment remplies.

En second lieu, le Comité a décidé de modifier les taxes de vérification pour les différentes espèces d'étalons, en vue de leur faire représenter à peu près l'ensemble des dépenses directes et spéciales occasionnées au Bureau international par chacune de ces opérations.

Les travaux de vérification qui seront demandés pour les services publics des Gouvernements signataires de la Convention du Mètre, par voie diplomatique au bureau du Comité, seront exécutés gratuitement.

Le nouveau Règlement sera appliqué pour toutes les demandes qui suivront sa publication.

### **Règlement pour la vérification des étalons de poids et mesures et des instruments auxiliaires.**

ARTICLE 1<sup>er</sup>. — Conformément à l'art. 6 de la Convention du Mètre, le Bureau international des Poids et Mesures, fondé par cette Convention, à Sèvres près de Paris, est chargé de la comparaison des

étalons de longueur et de poids, des échelles divisées ainsi que des thermomètres et des baromètres de précision, dont la vérification lui sera demandée, soit par des Gouvernements, soit par des établissements scientifiques, des sociétés savantes, des artistes constructeurs ou des savants.

ART. 2. — Les vérifications à exécuter au Bureau international doivent être strictement limitées à des étalons de premier ordre. Les demandes qui n'émanent pas des Gouvernements peuvent être adressées au Directeur du Bureau international, au pavillon de Breteuil, Sèvres (*près de Paris*). Mais elles sont soumises, dans tous les cas, au bureau du Comité, qui décide si elles peuvent être acceptées et donne l'autorisation d'exécuter les travaux.

ART. 3. — Les étalons et instruments peuvent être présentés et retirés par le propriétaire en personne ou par son représentant dûment autorisé; ou bien ils peuvent être envoyés par poste ou chemin de fer; dans ce dernier cas, l'envoi et le retour ont lieu aux frais et risques du propriétaire.

A leur arrivée au Bureau, il sera dressé, et, le cas échéant, en présence du propriétaire ou de son représentant, un procès-verbal constatant l'état des étalons. Pendant leur séjour au Bureau international, l'administration de ce dernier mettra tous ses soins à assurer leur sécurité et leur bonne conservation; mais elle n'est pas matériellement responsable des accidents qui, malgré toutes les précautions prises, pourraient arriver à ces objets.

ART. 4. — Le Bureau exécutera les comparaisons et vérifications avec toute la diligence que comportent la nature de l'opération demandée et l'état général des travaux obligatoires du Bureau international, mais il ne s'engage pas à les exécuter dans un délai fixe. Le Bureau ne communiquera, en aucun cas, aux propriétaires, avant l'achèvement des comparaisons, des valeurs approximatives des équations ou corrections.

ART. 5. — Les étalons ou instruments présentés ou envoyés doivent être accompagnés d'une note signée par le propriétaire et indiquant :

- a, la désignation et la description sommaire de l'objet;
- b, le nom du constructeur et l'époque de la construction;
- c, la nature et l'étendue de la vérification demandée;

d, s'il faut tenir l'objet à la disposition du propriétaire ou le lui retourner par la poste ou par une autre voie.

ART. 6. — Les études faites par le Bureau international seront résumées dans des certificats, signés par le Directeur du Bureau, et contenant les résultats des diverses déterminations effectuées : équations des règles ou des poids par rapport aux prototypes, erreurs des divisions, etc.

ART. 7. — *Mesures de longueur.* — Pour être acceptés, les étalons de longueur doivent appartenir au système métrique ; leur longueur peut être de 1, 2, 3 ou 4 mètres. Ils peuvent être à bouts ou à traits, en métal ou en pierre dure. Pour les étalons à bouts, les surfaces terminales doivent être suffisamment parfaites et intactes pour bien définir la longueur. Les étalons à traits doivent être tracés sur le plan des fibres neutres, les traits doivent être assez nets et assez fins pour pouvoir être bien observés avec un grossissement de 60 fois environ.

Il peut, par exception, être dérogé à quelques-unes des règles précédentes, par exemple à la condition du plan des fibres neutres, pour des pièces présentant une valeur historique importante, pour des règles géodésiques, les étalons fondamentaux des services des nivellements de précision, les petites échelles constituant des subdivisions décimales du mètre (décimètre, centimètre, millimètre) et les divisions micrométriques sur verre ou cristal de roche.

Les propriétaires peuvent demander pour les mesures de longueur :

- a, la comparaison à la température ambiante ;
- b, l'équation complète avec détermination de la dilatation ;
- c, pour les échelles divisées, l'étude de la division.

ART. 8. — *Mesures de masse.* — Les étalons de masse ou de poids et les poids divisionnaires peuvent être en métal ou en pierre dure. Ils doivent être constitués d'un seul morceau, sans pièces rapportées, sans cavités intérieures, ajustés par rodage et non par addition de grenaille. Ils doivent être dans un état irréprochable de conservation.

Les propriétaires peuvent demander pour ces étalons :

- a, l'équation par rapport au prototype du kilogramme, si le volume ou la densité sont donnés ;
- b, la détermination du poids spécifique ;

*c*, pour les poids divisionnaires, leur valeur en unités métriques.

ART. 9. — *Thermomètres*. — Les thermomètres, pour être reçus, doivent être faits d'une seule pièce, à échelle tracée directement sur la tige. Les thermomètres à mercure doivent porter le point zéro, et être munis d'une petite chambre à leur partie supérieure. Ceux pour lesquels on demande le calibrage doivent avoir une division équidistante.

Les thermomètres à mercure qui ne satisfont pas à cette dernière condition, de même que les thermomètres à alcool destinés à la mesure des basses températures, dont le tube n'a point été soumis à un calibrage préalable, avant l'achèvement de l'instrument, ne peuvent être déterminés que par des comparaisons avec les étalons du Bureau.

Suivant le cas et la disposition des instruments, les propriétaires peuvent demander (voir l'*Annexe*) :

*a*, la détermination de l'intervalle fondamental ou de la valeur du degré, et celle du coefficient de pression ;

*b*, le calibrage de toute l'échelle ;

*c*, des comparaisons en plusieurs points avec les étalons du Bureau.

ART. 10. — *Baromètres*. — Les baromètres, pour être reçus, doivent être à mercure et avoir un diamètre intérieur d'au moins 11<sup>mm</sup> ; ils peuvent être à siphon ou à système Fortin ; ils doivent être munis des moyens de déplacer le niveau du mercure dans les deux branches. Les baromètres doivent toujours être apportés et retirés par le propriétaire ou son délégué.

Les propriétaires peuvent demander la détermination de la correction par rapport au baromètre normal.

ART. 11. — Les vérifications demandées par les gouvernements des États ayant adhéré à la Convention du Mètre sont gratuites.

Les institutions publiques ou privées, ainsi que les savants ou artistes constructeurs appartenant aux États qui participent à la Convention devront payer les taxes suivantes, établies par le Comité, en vertu de l'article 15 du Règlement annexé à la Convention.

I. — MESURES DE LONGUEUR.

Mesures métriques à traits.

1. Comparaison à la température ambiante.....	60 <sup>fr</sup>
2. Détermination de la dilatation, soit par la méthode du comparateur, soit par la méthode Fizeau lorsqu'un échantillon préparé à cet effet sera fourni par le propriétaire.....	150
3. Étalonnage de la division d'une règle d'un mètre, savoir : détermination de tous les centimètres et des millimètres d'un centimètre (110 traits).....	400

Pour les étalons appartenant à d'autres systèmes que le système métrique, pour les mesures à bouts et en général pour les cas exceptionnels indiqués dans la circulaire ci-dessus, les taxes seront fixées par le Directeur du Bureau, d'accord avec le bureau du Comité, en tenant compte du travail exigé par chaque demande.

II. — DÉTERMINATION DE MASSES.

Poids métriques; maximum 1 kilogramme.

1. Détermination du poids absolu d'une pièce, le poids spécifique étant déjà connu ou indiqué par le propriétaire....	60 <sup>fr</sup>
2. Détermination du poids spécifique d'une pièce.....	120
3. Étalonnage d'une série de poids, pour chaque pièce en plus de la pièce principale.....	20

Pour les poids supérieurs à 1 kilogramme ou appartenant à d'autres systèmes, les taxes seront fixées, comme ci-dessus, dans chaque cas particulier.

III. — THERMOMÈTRES.

1. Détermination de l'intervalle fondamental ou de la valeur du degré et du coefficient de pression.....	20 <sup>fr</sup>
2. Comparaison d'un thermomètre avec les étalons du Bureau; pour chaque point à déterminer.....	10
3. Calibrage et étude de la division, suivant modèles (voir <i>Annexe</i> ).....	30 à 80

#### IV. — BAROMÈTRES.

Détermination de la correction par rapport au baromètre normal ..... 50<sup>fr</sup>

Les gouvernements des États qui n'ont pas adhéré à la Convention, ainsi que leurs nationaux, auront à payer le double de ces taxes, et le Bureau ne prendra avec eux aucun engagement quant aux délais d'exécution.

ART. 12. — Les propriétaires ont en outre à payer les frais de transport, d'emballage et autres, qui résulteront de l'envoi des objets par la poste ou par chemin de fer.

Les taxes sont payées à la remise des certificats, ou prises en remboursement lors de l'envoi par poste de ces certificats.

#### Annexe.

Les études thermométriques étant très fréquemment demandées au Bureau et pouvant comporter une grande diversité, suivant les cas, selon les dispositions des thermomètres et les usages auxquels ils sont destinés, il convient de rappeler quelques principes qui devront servir pour les demandes à adresser au Bureau, et de spécifier plus nettement les conditions nécessaires pour que les vérifications puissent être précises et réellement utiles.

L'étude individuelle d'un thermomètre étalon comprend les opérations suivantes :

- a. Détermination de l'intervalle fondamental.
- b. Détermination du coefficient de pression.
- c. Calibrage et étude de la division.

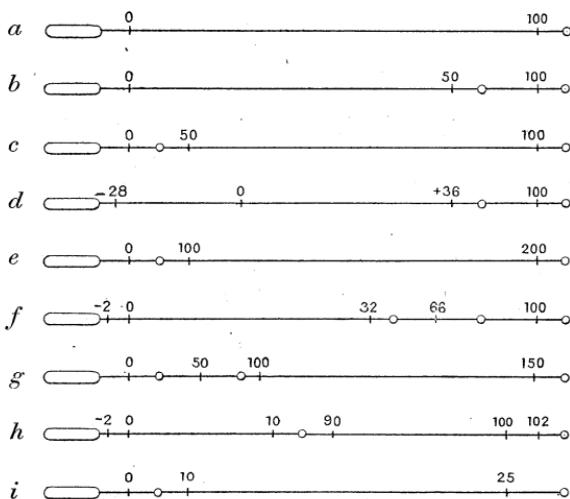
Ces trois opérations fournissent les éléments nécessaires à l'établissement des tables de corrections individuelles de chaque thermomètre.

Les recherches faites dans ces dernières années ont montré que *quand les lectures, rapportées au zéro actuel, ont subi les corrections individuelles données par les tables, tous les thermomètres construits avec le même verre fournissent des indications concordantes dans les limites des erreurs d'observation.* L'étude individuelle d'un thermomètre étalon suffit donc pour fournir une échelle thermométrique

parfaitement déterminée. Les comparaisons ne sont nécessaires que pour des thermomètres construits avec un verre inconnu, ou ne possédant pas le point 100, ou encore dont la division est telle que tous ses points ne sont pas accessibles à un calibrage partant des points 0 et 100.

La comparaison de deux thermomètres est une opération délicate et difficile, qui n'atteint la précision d'un calibrage qu'à la condition d'y employer beaucoup de temps et de peine ; on doit donc, dans les études thermométriques, la réduire au minimum possible, 1° en faisant construire les thermomètres avec un verre dont les propriétés sont connues ; 2° en choisissant un modèle de thermomètre qui, approprié autant que possible au but que l'on poursuit, possède les points 0 et 100 et les parties de l'échelle nécessaires pour qu'on puisse atteindre chaque point par un calibrage partant des points 0 et 100.

Nous indiquons ici les modèles les plus usuels.



Ces exemples montrent le parti que l'on peut tirer des ampoules intermédiaires remplaçant une partie de l'échelle qui ne doit pas être utilisée dans les expériences qu'on a en vue. On pourrait les varier encore de bien des façons ; mais ces modifications doivent être faites d'une façon raisonnée et systématique. Il n'y a généralement aucun

inconvenient à prolonger un peu l'échelle; mais on peut rendre un thermomètre impropre à être calibré en la raccourcissant. Afin d'éviter tout mécompte, le Bureau invite les savants qui voudraient faire étudier des thermomètres d'un modèle sensiblement différent des précédents, et qui n'ont pas fait une étude spéciale de ces questions, à s'enquérir auprès de lui de la possibilité de l'étude avant de les faire construire.

Lorsque, par suite de conditions spéciales à remplir, le point 100 ne peut exister sur la tige (modèle *i*, thermomètre calorimétrique) ou lorsqu'un calibrage est impossible entre 0 et 100 (modèle *h*, thermomètre hypsométrique), la valeur du degré est déterminée par des comparaisons en un ou deux points avec un thermomètre étalon; la comparaison est alors équivalente à la détermination de l'intervalle fondamental.

Le Bureau international est en possession de thermomètres comparés dans toute leur étendue avec le thermomètre à hydrogène. Ces comparaisons, qui ont nécessité un labeur assidu de plusieurs années, constituent un travail fondamental d'une valeur scientifique générale qu'il serait absolument inutile de répéter dans le seul but de déterminer les corrections d'un thermomètre particulier. En conséquence, les comparaisons qui pourraient être demandées ne seront faites, en aucun cas, directement avec le thermomètre à gaz.

Les comparaisons à toutes températures, mais particulièrement aux températures très basses, exigent des manipulations importantes, la mise en marche de diverses machines, et occasionnent des dépenses considérables de chauffage ou de refroidissement; de telle sorte que, autant que possible, elles ne sont faites que pour plusieurs thermomètres à la fois ou immédiatement l'un après l'autre; enfin, les comparaisons aux températures basses ne peuvent être faites dans de bonnes conditions qu'en hiver. Le Bureau ne pourra jamais, par conséquent, s'engager à exécuter à bref délai toutes les études exigeant des comparaisons.

Les procédés employés pour l'étude de la division et du calibre des thermomètres (subdivisions, nombre des colonnes mercurielles, etc.) ont été établis d'après une longue expérience, et ces opérations sont toujours faites par le Bureau conformément à des schémas réguliers, invariablement fixés et appropriés à chacun des modèles. L'étendue du travail variant considérablement suivant les cas, le Comité a établi des taxes différentes pour les diverses sortes de thermomètres.

Ainsi, l'étude complète d'un thermomètre, comprenant la détermi-

nation de l'intervalle fondamental, celle du coefficient de pression, la vérification de la division et le calibrage, est taxée de la manière suivante :

Modèle <i>a</i> .....	100	fr
Modèles <i>b, c, d, e, f, g, i</i> .....	80	
Modèle <i>h</i> .....	50	
Calibrage d'un thermomètre destiné à la mesure des basses températures (thermomètre à alcool).....	60	
Détermination de l'intervalle fondamental après remplissage.....	20	

Pour toutes les demandes qui pourraient être faites et qui sortiraient du cadre des études spécifiées ci-dessus, des taxes spéciales seront fixées, dans chaque cas, en tenant compte de l'étendue des travaux correspondants.

**M. le PRÉSIDENT** croit que, bien qu'il n'ait pas été possible de soumettre le projet à l'état d'impression aux membres du Comité, on peut cependant prendre des décisions sur les principes et les dispositions essentielles, en laissant au bureau du Comité le soin d'arrêter le texte définitif. Cette revision est du reste nécessaire dans l'intérêt de l'institution, dont les ressources budgétaires et personnelles réduites risqueraient d'être absorbées dans de trop grandes proportions par ces travaux de vérifications, si les anciennes conditions n'étaient pas modifiées.

**M. THALÉN** considère que, dans certains cas du moins, on pourrait augmenter pour les États non contractants les taxes au delà du double, pour éviter que les principaux instruments ne soient en quelque sorte accaparés par des travaux de ce genre, au détriment des États contractants.

**M. FOERSTER** préférerait, à une espèce d'échelle mobile des taxes, voir introduire le principe que les demandes des États contractants doivent toujours avoir le pas sur celles des États non signataires.

M. BERTRAND trouve que ce principe est en effet équitable, mais qu'il vaut mieux se dispenser de l'énoncer formellement dans un article du règlement, et laisser au bureau du Comité le droit de l'appliquer selon les circonstances.

Cette manière de voir est partagée par le Comité qui, avec ces quelques observations et réserves, adopte l'ensemble du projet de Règlement.

M. le DIRECTEUR communique le rapport de M. Guillaume sur les mesures de température par les procédés électriques.

On décide que ce rapport figurera comme annexe aux rapports du Directeur dans les *Procès-Verbaux*.

A la demande de M. Benoît, on décide également que ces études, dont M. Foerster signale l'utilité pour la métrologie, seront comprises dans le programme des travaux du Bureau pour 1892, avec la réserve toutefois qu'elles ne viendront qu'après les travaux fondamentaux concernant les prototypes.

M. GOULD demande à faire deux propositions. Pour la première, il est l'interprète de M. Chaney, qui ne prétend pas qu'on la réalise immédiatement, mais qui désirerait vivement que le Comité s'en occupât en principe.

Voici cette proposition :

« Le Comité international, reconnaissant qu'il serait désirable, dans l'intérêt des sciences et des arts, d'établir des étalons authentiques du décimètre et du gramme, décide en principe que la construction de pareils étalons entre dans le programme du Comité et devra être entreprise par le Bureau après que les autres travaux plus pressants, surtout les comparaisons des prototypes, qui restent encore à faire, seront terminés. »

L'importance que M. Chaney attache à voir le Comité

entrer dans cette voie prouve qu'il existe des raisons pratiques qui militent en faveur de la création de pareils étalons authentiques.

M. WILD croit pour le moment suffisant que le Bureau détermine exactement les décimètres et les grammes qu'on pourrait lui présenter, d'après les types qu'il possède dans ses échelles divisées et ses séries de poids ; mais il craint qu'en construisant des décimètres et des grammes étalons indépendants, on ne crée pour ainsi dire une seconde espèce de prototypes.

M. BENOÎT attire l'attention sur le fait qu'il est, en général, difficile pour les Bureaux nationaux de passer directement du mètre prototype au décimètre ; il serait donc utile de leur faciliter cette tâche par le moyen indiqué par M. Chaney.

M. FOERSTER est d'avis que, tout en évitant de donner aux représentants du décimètre et du gramme, qui seraient fournis par le Bureau international, le même caractère d'autorité qu'aux prototypes du mètre et du kilogramme, on rendrait un grand service à la métrologie, si les Bureaux nationaux recevaient du Bureau international des copies d'égale valeur du décimètre et du gramme, construites avec tous les soins nécessaires et les matériaux les plus appropriés. On assurerait par ce moyen l'identité jusqu'au cent-millième près aussi dans cette partie des poids et mesures, tandis qu'actuellement il existe des différences beaucoup plus grandes dans ces subdivisions déduites cependant de prototypes équivalents. Il estime donc qu'il faudrait avant tout, lorsque les travaux pour les prototypes proprement dits seront terminés, entreprendre des études sur la construction et la matière pour de pareils étalons indépendants, auxquels on pourra éventuellement comparer plus tard d'autres unités de même espèce dont on demanderait la vérification au Bureau. En

attendant, on priera M. Chaney de présenter dans la prochaine session, au nom de son Gouvernement, des propositions formelles, qui seront alors sans aucun doute favorablement accueillies par le Comité.

Avec cette interprétation, le Comité est unanime à prendre en considération le projet de MM. Gould et Chaney.

La seconde proposition de M. Gould a été présentée par son auteur dans les termes suivants :

Dès l'origine du Comité international, il a été généralement reconnu qu'il serait d'une importance fondamentale de déterminer les relations entre les unités métriques et quelques bases constantes physiques qu'on peut déduire de certains phénomènes naturels.

Au cours des délibérations du Comité, la question a été, depuis plus d'une dizaine d'années, discutée à plusieurs reprises; et dernièrement, dans la Conférence générale de 1889, notre collègue, M. Wild, en énumérant les tâches principales du Bureau international dans la seconde période de son activité, a mentionné, comme l'une des plus importantes, la détermination du mètre en longueurs d'onde de lumière provenant de sources bien définies.

Le moment paraît venu pour le Comité de s'occuper sérieusement de travaux de cette nature, en procurant sans délai à M. le Directeur la coopération d'hommes spécialement compétents dans ce genre de recherches.

Les membres du Comité ont certainement eu connaissance des travaux intéressants exécutés pendant les dernières années, dans les mêmes intentions, par M. Michelson et de la précision très remarquable à laquelle il est parvenu. Il est arrivé à ma connaissance que M. Michelson a poursuivi des recherches importantes dans le but de découvrir les sources lumineuses, et en particulier les raies capables de fournir de la lumière suffisamment monochromatique pour ces déterminations.

Il avait d'abord porté son attention sur plusieurs raies qui paraissent bien appropriées au but voulu, mais qui, après un examen plus approfondi, se sont montrées ou doubles ou trop larges pour cet emploi.

Dans les derniers jours du mois de mai de cette année, j'ai eu la satisfaction d'examiner l'appareil que M. Michelson a fait construire, et au moyen duquel il a déjà déterminé avec succès quelques di-

stances par le nombre de longueurs d'ondes lumineuses auxquelles elles correspondent. Je ne me hasarderai pas à donner ici une description détaillée de l'instrument; car, dans la supposition qu'il me serait facile d'en trouver à Paris une description publiée, je n'ai pas apporté avec moi les notes nécessaires. Mais M. Michelson a déjà mesuré des distances allant jusqu'à quelques centimètres et avec la garantie qu'aucune erreur n'existe dans l'énumération du nombre total des ondes.

Un tel procédé peut être appliqué aux étalons du décimètre déterminés au Bureau international, où les instruments de précision faciliteraient beaucoup la détermination en question.

Comme, d'après l'examen scrupuleux de nos finances, j'ai toute raison de croire que la construction d'un tel appareil et son transport à Breteuil, ainsi qu'une indemnité raisonnable pour les services personnels de M. Michelson, ne dépasseraient pas les limites de nos moyens, je me permets de soumettre au Comité la proposition d'inviter M. Michelson à entreprendre à Breteuil, dans l'année prochaine, une détermination de l'unité métrique en fonction des longueurs d'onde de quelques raies de différente réfrangibilité, et de diriger dans ce but la construction d'un appareil, d'après les principes de l'instrument qu'il a déjà employé avec succès.

M. GOULD ajoute à cet exposé que, bien qu'il n'ait pas de relations personnelles intimes avec M. Michelson, il ne doute pas que celui-ci et l'Université à laquelle il appartient ne considèrent comme flatteuse l'invitation qui lui serait adressée, et que l'Université ne s'empresse de lui accorder le congé nécessaire.

M. WILD appuie la proposition de M. Gould en rappelant que la recherche qu'elle est destinée à réaliser a été formellement comprise dans le programme des travaux du Bureau, tracé par la Conférence générale de 1889.

M. le DIRECTEUR reconnaît que la collaboration proposée pourra donner les meilleurs résultats. En effet, la partie optique proprement dite se trouvera confiée aux mains les plus expérimentées, tandis que le Bureau, avec sa riche collection d'instruments de premier ordre, pourvoiera à la

partie métrologique. D'après les résumés qui ont paru dans la presse scientifique sur les recherches de M. Michelson, il est permis d'avoir la plus grande confiance dans la sûreté de ses méthodes. Il espère que, malgré l'exiguïté des locaux dont on dispose au Bureau international, on parviendra à y installer convenablement les appareils de M. Michelson, qui d'après leur nature ne sauraient exiger une place trop considérable.

M. FOERSTER a eu l'occasion d'apprécier la grande valeur des travaux de M. Michelson, qui promettent aussi d'être féconds pour les mesures micrométriques de la plus grande finesse en astronomie. M. Michelson est en voie d'établir avec sûreté la relation précise entre les longueurs d'onde de rayons bien déterminés et une longueur linéaire représentant une fraction assez considérable du mètre. Ses méthodes ne sont pas encore suffisamment du domaine public pour qu'on puisse se passer de la collaboration personnelle de leur auteur dans l'étude que le Comité est chargé de poursuivre. Il est bien entendu que les travaux qui seront exécutés par M. Michelson au Bureau seront publiés dans les *Travaux et Mémoires* de ce dernier.

En conséquence, M. le PRÉSIDENT propose de prier M. Gould de s'entendre avec M. Michelson sur le but indiqué, et d'autoriser le bureau du Comité à ordonnancer les sommes nécessitées par la construction et le transport des instruments, ainsi que pour les frais de voyage et l'indemnité personnelle du savant américain. Il réserve à la prochaine séance de fixer à peu près le montant de ces dépenses et le chapitre du budget sur lequel elles pourraient être prélevées.

Le Comité adopte à l'unanimité la proposition de M. Gould ainsi définie par le Président.

L'ordre du jour appelle le second rapport de la Commission des Comptes et Finances. A la demande de M. Ber-

trand, président de cette Commission, M. ARNDTSEN, rapporteur, donne lecture du document suivant :

**Second rapport de la Commission des Comptes et Finances.**

En examinant la situation financière du Bureau international, pour l'exercice de 1890, la Commission a trouvé l'état suivant :

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

D'après les <i>Procès-Verbaux</i> de 1890, p. 87, le total des actifs, au commencement de l'année 1890, s'élevait, pour ce chapitre, à.....	fr 17516,43
Dans le cours de l'année 1890, le Compte I n'a eu qu'une recette, provenant des taxes de vérification, montant à.....	340,00
L'actif de ce Compte s'est donc élevé, en 1890, à.....	17856,43
Les dépenses, en 1890, ont été les suivantes :	
Tonnélet, pour thermomètres.....	fr 535,00
Brunner, 2 objectifs achromatiques doubles pour comparateur.....	165,00
Brigonet et Naville. Réservoir à chlorure de méthyle.....	85,00
Ducretet. Cylindre à acide carbonique liquide. Clef et raccord.....	139,00
Pièces diverses pour l'appareil à basses températures.....	462,15
Total.....	1386,15
De sorte que l'actif, à la fin de 1890, a été de.....	16470,28
Pendant l'année 1891, dans les huit premiers mois, le Compte I a eu quelques recettes, provenant des taxes de vérification, etc., montant à.....	370,80
L'actif est donc devenu.....	16841,08
A reporter.....	16841,08

	Report.....	fr 16841,08
Les dépenses pour cette même période ont été .		
Balance de 5 <sup>ks</sup> de Rueprecht (achetée d'oc-		
sion).....	fr 700,00	
Strube, 1 tour de précision.....	1100,00	
Tunnelot. Thermomètres.....	306,00	
Pièces diverses pour l'appareil à basses tem-		
pératures.....	47,05	
	<hr/>	
Total.....		2153,05
		<hr/>
L'actif disponible de ce Compte est donc actuellement		
de.....		14688,03

Dans un avenir prochain, le Compte I, aura, en outre, une recette de 22335<sup>fr</sup>, provenant de la contribution d'entrée des États-Unis du Mexique, qui ont actuellement accédé à la Convention.

## II. — Frais de confection des prototypes internationaux ainsi que des étalons et témoins du Bureau.

D'après les <i>Procès-Verbaux</i> de 1890, p. 88, le Compte II possédait, à la fin de l'année 1889, un actif de.....	fr 50179,60
dont 41932 <sup>fr</sup> ,50 étaient disponibles et 8247 <sup>fr</sup> ,10 ont dû être prêtés au Compte IV.	
Pendant l'année 1890, une dépense a été faite sur le Compte II, savoir :	
Alvergniat. Tube à vide avec manomètre.....	40,00
	<hr/>
L'actif du Compte II s'est donc réduit, à la fin de 1890, à	50139,60
dont 46588 <sup>fr</sup> ,90 étaient disponibles, 3454 <sup>fr</sup> ,60 ont dû être prêtés au Compte IV, et 96 <sup>fr</sup> ,10 sont dus par l'Académie de Saint-Pétersbourg ( <i>voir</i> Chap. IV).	
Dans les huit premiers mois de l'année 1891, rien n'a été dépensé sur ce Compte.	
De sorte que l'actif du Compte II est actuellement de	50139,60
dont 46685 <sup>fr</sup> ,00 sont disponibles et 3454 <sup>fr</sup> ,60 sont encore dus par le Compte IV.	

Comme les actifs du Compte II ne suffiraient pas entièrement à couvrir le prix des étalons et témoins du Bureau international (voir

*Procès-Verbaux* de 1890, p. 88); comme, en outre, il y aura probablement encore d'autres dépenses de ce genre à faire, la Commission des Finances propose au Comité d'ajourner la délibération définitive sur ces questions jusqu'à une session future.

### III. — Frais annuels.

Les recettes, pour 1890, ont été :

	fr
1. Les contributions réglementaires.....	74507,00
c'est-à-dire la somme réglementaire de 75000 <sup>fr</sup> , diminuée de celle de la République Argentine pour 1890, montant à 493 <sup>fr</sup> .	
2. Rentrée de la contribution arriérée de la Belgique pour 1889 (voir <i>Procès-Verbaux</i> de 1890, p. 92) montant à.....	1719,00
3. Intérêts bonifiés (déduction faite des intérêts à bonifier à l'Académie de Saint-Petersbourg, montant à 352 <sup>fr</sup> , 81, voir Compte IV).....	2972,58
4. Subvention extraordinaire pour couvrir les anciens arriérés des contributions pour le Compte III (voir <i>Procès-Verbaux</i> de 1890, p. 92), montant à.....	12362,00
5. Rentrée des anciens arriérés des contributions du Pérou (voir Compte V).....	4983,00
6. Paiement anticipé de la Roumanie, réservé, et montant (déduction faite des intérêts) à.....	731,05
Total.....	<u>97274,63</u>
En outre, il y a eu, au 31 décembre 1889, sur le Compte III, un actif disponible (voir <i>Procès-Verbaux</i> de 1890, p. 91) de.....	<u>2094,25</u>
Ce qui élève le total des actifs disponibles du Compte III, pour l'exercice de 1890, à.....	99368,88

Les dépenses de l'exercice 1890, comparées aux prévisions établies dans la session de 1889, sont consignées dans le Tableau suivant :

	Prévisions.	Dépenses.	En plus.	En moins
A. Traitements fixes.	33040 <sup>fr</sup>	32790,00 <sup>fr</sup>		250,00 <sup>fr</sup>
	Directeur..... Adjoint..... Aides..... Mécanicien..... Garçon de bureau..... Concierge.....			
B. Frais généraux d'administration.				
1. Entretien des bâtiments, dépendances, etc.....	3000	3996,15	996,15 <sup>fr</sup>	
2. Entretien des machines et appareils fixes.....	600	207,10		392,90
3. Achat d'instruments auxiliaires et entretien des instruments.....	1000	245,90		754,10
4. Frais d'atelier.....	900	455,65		444,35
5. » de laboratoire.....	800	356,50		443,50
6. Achat de glace.....	900	720,00		180,00
7. Frais de chauffage.....	2000	2596,50	596,50	
8. Frais d'éclairage et gaz pour moteur.....	3000	1934,25		1065,75
9. Concession d'eau.....	200	193,80		6,20
10. Prime d'assurance.....	500	350,55		149,45
11. Frais de bureau.....	700	695,75		4,25
12. Bibliothèque.....	700	1133,25	433,25	
13. Frais d'impressions et publications.....	13000	16926,16	3926,16	
14. Frais de secrétariat et de présidence.....	1000	2807,85	1807,85	
C. Indemnité au Secrétaire.....	6000	6000,00		
D. Frais divers.	7660	5215,60		2444,40
	Calculateurs..... Études thermométriques..... Frais de banquier..... » transports..... Gratifications..... Frais divers.....			
Total des frais annuels.....	75000	76625,01	7759,91	6134,90
		Donc en plus....	1625 <sup>fr</sup> ,01	

Ainsi le total des dépenses a été de 76625<sup>fr</sup>,01, ou, en réalité, de 76959<sup>fr</sup>,01, dont on a fait (sur le chapitre d'entretien des bâtiments) une déduction d'une recette provenant de la vente de vieux matériel et montant à 334<sup>fr</sup>.

Dans la comparaison avec la prévision, établie d'après les *Procès-Verbaux* de 1889, p. 83 et 84, on a dû transférer le premier poste de cette prévision, indiquée sous la lettre B, au poste « Frais divers », sous la lettre D, parce qu'en réalité, dans l'exercice de 1890, il n'y a plus eu de travaux de savants attachés au Bureau, lequel n'a eu, outre le personnel fixe, que des aides.

Il convient, en outre, de faire, à propos de ces dépenses, les remarques suivantes :

1° *Entretien des bâtiments et dépendances.* — En 1889, conformément aux conclusions d'un supplément au rapport de la Commission des Comptes (voir *Procès-Verbaux*, p. 96; 1889), le Comité avait voté un crédit extraordinaire de 3000<sup>fr</sup> pour réparations urgentes aux bâtiments du Bureau. Sur cette somme, 1700<sup>fr</sup> ont été consacrés à la réfection de la terrasse, payée dès 1889 et comptée sur le précédent exercice. Les 1300<sup>fr</sup> restants, pour travaux de maçonnerie faits, sur devis, dans le bâtiment d'habitation, ont été ajoutés ci-dessus aux frais du Compte d'entretien des bâtiments; ils expliquent donc l'excédent sur les prévisions.

2° *Frais de chauffage.* — La somme prévue (2000<sup>fr</sup>) est manifestement trop faible, d'après l'expérience des dix ou douze dernières années, et son insuffisance devait être d'autant plus marquée que les combustibles ont subi, dans ces derniers temps, un renchérissement sensible. M. le Directeur a déjà fait remarquer que la diminution très notable (1500<sup>fr</sup> environ) qui avait été réalisée sur ce chapitre dans l'exercice de 1889 ne constituait, pour la plus grande part, qu'une économie *apparente*, et tenait à une modification dans les époques des paiements des fournitures, obtenues désormais par une adjudication publique (voir *Treizième Rapport*, p. 56). C'est donc par inadvertance qu'on a fait entrer la dépense de l'exercice 1889 comme base dans l'évaluation de la dépense annuelle sur ce chapitre, l'équilibre devant nécessairement se trouver rétabli l'année suivante.

3° *Bibliothèque.* — L'excédent sur ce compte (433<sup>fr</sup>, 25) tient à ce que MM. Gauthier-Villars avaient consenti, en 1889, à laisser différer le paiement d'une partie des sommes qui leur étaient dues. On a eu ainsi, en 1890, à solder les dépenses d'abonnement aux publications périodiques et frais de librairie de deux années au lieu d'une.

4° *Frais d'impressions et publications.* — Même justification que pour l'article précédent.

Lors de la session du Comité en 1890, on avait prévu 19686<sup>fr</sup> pour le solde complet de ce compte. La réduction de 2759<sup>fr</sup>, 84, par rapport à cette prévision, tient à ce qu'on a déduit de la note due à MM. Gauthier-Villars le produit de la vente des publications du Comité et du Bureau, faite au profit de celui-ci. Pour l'avenir, le bureau du Comité, par une démarche faite en commun avec M. le Directeur, a, en suivant l'indication contenue dans le rapport des finances de la dernière session, obtenu de MM. Gauthier-Villars une diminution du prix d'impression, s'élevant à 6 ou 7 pour 100, ce qui représente une économie d'environ 1000<sup>fr</sup> par an.

5° Quant à l'augmentation des dépenses sous le titre B.14, la Commission s'en réfère à ce qui a été dit dans le Rapport de l'année 1889 (voir *Procès-Verbaux* de 1889, p. 81).

Sur la plupart des postes, il y a des économies très sensibles par rapport aux premières prévisions.

En comparant le total des actifs disponibles pour le	
Compte III de l'exercice de 1890, montant à.....	99368,88 <sup>fr</sup>
avec le total des dépenses.....	76625,01
on trouve, à la fin de l'année 1890, un actif dispo-	
nible de.....	22743,87
mais dans lequel se trouve comprise la contribution an-	
tipicipée de la Roumanie, montant, à la fin de 1890, à la	
somme de.....	752,98
de sorte que l'actif réellement disponible pour le service	
du Compte III était, à la fin de l'année 1890, de.....	21990,89

Quant à l'exercice de 1891, jusqu'à l'époque actuelle, les recettes ont été :

1° Les contributions réglementaires.....	56497,00 <sup>fr</sup>
c'est-à-dire la somme réglementaire de 75000 <sup>fr</sup> , dimi-	
nuée des contributions arriérées de l'Autriche-Hongrie,	
de la Belgique, de l'Italie et du Portugal, montant à	
18503 <sup>fr</sup> ;	
2° Rentrée de la contribution arriérée de la Répu-	
blique Argentine pour 1889.....	493,00
3° Intérêts bonifiés.....	37,95
Total.....	57027,95
En ajoutant l'actif disponible à la fin de l'année 1890..	21990,89
on trouve comme recettes actuellement disponibles,	
pour le Compte III, la somme de.....	79018,84

Quant aux dépenses pour l'exercice de 1891, le Tableau suivant contient :

1° Les dépenses réellement faites dans les huit premiers mois de cette année;

2° Une évaluation approximative des dépenses qui restent encore à faire pour le reste de l'exercice;

3° La somme des dépenses indiquées aux n<sup>os</sup> 1 et 2;

4° La comparaison des dépenses contenues dans le n<sup>o</sup> 3 avec les prévisions établies dans le Rapport précédent (*Procès-Verbaux* de 1890, p. 96).

	DÉPENSES faites pendant les huit pre- miers mois de 1891.	ÉVALUA- TION des dépenses à faire pour le reste de l'exercice 1891.	TOTAL approx- matif pour l'année 1891.	COMPARAISON avec les prévisions. — DÉPENSÉ	
				en plus.	en moins.
A. Traitements. { Directeur.. Adjoints... Aides, Cal- culateurs, etc. .... Mécanicien. Garçon de bureau... Concierge..	fr 24084,30	fr 12355,70	fr 36440,00	»	fr 1100,00
B. Indemnité du Secrétaire..	4000,00	2000,00	6000,00	»	»
C. Frais généraux d'admin- istration :					
1. Entretien des bâtiments, dépendances, etc.....	2542,70	1057,30	3600,00	»	»
2. Entretien des machines et appareils fixes.....	156,00	44,00	200,00	»	»
3. Entretien des instru- ments.....	112,70	387,30	500,00	»	»
4. Frais d'atelier.....	160,00	231,00	400,00	»	»
5. » de laboratoire...	173,65	526,35	700,00	»	500,00
6. Achat de glace.....	432,00	368,00	800,00	»	100,00
7. Frais de chauffage.....	2172,40	127,60	2300,00	»	»
8. » d'éclairage et de gaz pour moteur.....	1457,75	1042,25	2500,00	»	»
9. Concession d'eau.....	102,25	»	102,25	»	97,75
10. Prime d'assurance.....	»	353,00	353,00	»	»
11. Frais de bureau.....	333,30	266,70	600,00	»	»
12. Bibliothèque.....	»	800,00	800,00	»	»
13. Frais d'impressions et de publications.....	»	13000,00	13000,00	»	»
14. Frais de présidence et de secrétariat.....	»	1000,00	1000,00	»	2000,00
D. Frais divers.					
Gratifications.....					
Frais de transports.....					
» de banquier.....	422,60	987,40	1410,00	»	497,00
» divers.....					
Total.....	36158,65	34546,60	70705,25	»	4294,75
		Donc en moins....			4294,75

Comme l'actif disponible, à l'époque actuelle, est de	79018 <sup>fr</sup> ,84
et comme le total approximatif des dépenses de l'exercice de 1891 montera probablement à.....	<u>70705,25</u>
on trouvera, pour la fin de l'exercice présent, un actif disponible d'à peu près.....	8313,59
et en ajoutant les arriérés des contributions réglementaires de l'exercice 1891, montant à.....	<u>18503,00</u>
dont la rentrée aura probablement lieu dans un bref délai (comme c'est déjà arrivé pendant notre session pour la contribution de l'Italie), l'actif disponible, à la fin de cette année, serait à peu près de.....	26816,59
qui, probablement, sera encore augmenté par les intérêts bonifiés pour cet exercice, au total d'à peu près...	29000 <sup>fr</sup>

Enfin, nous soumettons à l'approbation du Comité le projet suivant du

*Budget pour l'exercice 1892.*

A.      Personnel :	
1. Directeur.....	15000 <sup>fr</sup>
2. 2 Adjoints.....	12000
3. Mécanicien.....	3000
4. Garçon de bureau.....	1800
5. Concierge.....	240
6. Aide-calculateur.....	3000
7. Aides pour les études thermométriques	<u>2500</u>
	37540    37540 <sup>fr</sup>
B.      Indemnité du Secrétaire .....    6000	
C.      Frais généraux d'administration :	
1. Entretien des bâtiments, dépendances, etc.....	4000 <sup>fr</sup>
2. Entretien des machines.....	200
3.   » des instruments.....	500
4. Frais d'atelier.....	400
5.   » de laboratoire.....	1200
6. Achat de glace.....	900
7. Frais de chauffage.....	<u>2700</u>
	9900    43540
A reporter.....	

Report.....	9900 <sup>fr</sup>	43540 <sup>fr</sup>
8. Frais d'éclairage et de gaz pour moteur.	2500	
9. Concession d'eau .....	200	
10. Prime d'assurance .....	353	
11. Frais de bureau .....	600	
12. Bibliothèque .....	800	
13. Frais d'impressions et de publications..	13000	
14. » de secrétariat.....	1000	
15. » divers et imprévus.....	3107	
	<u>31460</u>	31460
Total.....		<u>75000<sup>fr</sup></u>

**IV. — Frais des Prototypes nationaux et des appareils accessoires.**

Le total des dépenses, sur ce chapitre, à la fin de l'exercice de 1889, a été (*Procès-Verbaux* de 1890, p. 97) de..... 26762,10<sup>fr</sup>

Dans le courant de l'année 1890, on a fait les dépenses suivantes sur ce Compte :

Tonnélet. Thermomètres pour les États...	405,00
Quantin. Impressions pour certificats.....	85,00
Études thermométriques, Thermomètres des États.....	<u>732,50</u>

En somme..... 27984,60<sup>fr</sup>

Le total des remboursements sur ce Compte était à la fin de l'année 1889 (*Procès-Verbaux* de 1890, p. 97) de..... 18515<sup>fr</sup>  
et, dans le courant de l'année 1890, par

la Russie.....	1270 <sup>fr</sup>
la Belgique .....	2540
le Portugal .....	735
la Russie (p. la Finlande).....	735
la Bavière .....	<u>735</u>
	6015

En somme..... 24530,00

Donc, il reste encore à couvrir le montant de.....	3454,60 <sup>fr</sup>
auquel il faut encore ajouter la petite somme de.....	96,10
qui a été avancée par la Caisse de notre Bureau, en versant le total des remboursements dus par l'Académie de Saint-Pétersbourg au Gouvernement français, de sorte qu'à la fin de l'année 1890, le total de la somme à emprunter par le Compte IV aux actifs du Compte II a été de.....	3550,70

Quant à ces remboursements, nous nous en référons aux remarques finales de notre rapport de la session précédente (*Procès-Verbaux* de 1890, p. 98).

Dans les huit premiers mois de l'année 1891, on a dépensé sur le Compte IV, pour études des thermomètres accompagnant les Prototypes nationaux, la somme de..... 187<sup>fr</sup>,90

La petite somme de 96<sup>fr</sup>,10, mentionnée ci-dessus, a été remboursée, pendant l'exercice de 1891, à la Caisse du Bureau.

Les remboursements qui incombent encore aux différents Gouvernements sur ce chapitre sont les suivants.:

Roumanie.....	735 <sup>fr</sup>
Autriche.....	535
Bavière.....	535
	<hr style="width: 10%; margin-left: auto; margin-right: 0;"/> 1805 <sup>fr</sup>

En outre, on a, dès le commencement de l'exercice 1891, transféré aux actifs du Compte IV le paiement anticipé de la Grande-Bretagne pour un étalon à bouts, somme réservée, dont les intérêts seront désormais à bonifier à la Grande-Bretagne, à partir du commencement de l'année 1891.

Les versements de la Grande-Bretagne, de la Suisse et de l'Académie de Saint-Pétersbourg pour le prix des Prototypes déjà livrés, au total de 39834<sup>fr</sup>, ont été, à la fin de l'exercice de 1890, sortis de notre compte et transférés à celui du Gouvernement français.

#### V. — Compte de la subvention extraordinaire et des anciens arriérés de contributions.

Au commencement de l'année 1890 il restait encore à couvrir un déficit de recettes du Service international,

provenant des anciens arriérés (voir <i>Procès-Verbaux</i> de 1890, p. 98), montant à.....	fr 19368,00
Dans le courant de l'exercice 1890, les États suivants ont payé leur part contributive à la subvention extraordi- naire destinée à couvrir ces arriérés :	
Russie.....	fr 10265
Belgique.....	1876
Danemark.....	221
	<hr/>
	12362 <sup>fr</sup>
En outre, le Pérou s'est acquitté du total de ses anciennes contributions arriérées, jusqu'à la fin de 1889, c'est-à-dire de....	<hr/> 4983
Le Compte Va donc eu, pendant l'année 1890, une recette totale de.....	17345,00
qui a été transférée au Compte III.	
Par ces paiements, le déficit en question de nos recettes réglementaires a été réduit, à la fin de l'année 1890, à la somme de..	2023,00

Cet état de choses n'a pas été changé dans le courant de l'exercice de 1891 jusqu'à l'époque actuelle.

Si, comme nous l'espérons encore, la Grande-Bretagne nous accorde aussi sa part contributive à la couverture du déficit en question, montant à la somme de 7725<sup>fr</sup>, non seulement le déficit disparaîtra, mais il y aura alors, en conséquence de la rentrée inattendue des anciens arriérés du Pérou, un surplus de 5702<sup>fr</sup>, qui devrait alors, en temps utile, être remboursé aux Gouvernements.

Quant aux États dont les anciennes contributions arriérées jusqu'à la fin de l'exercice 1889 ont dû être couvertes par la subvention extraordinaire, on continuera sans doute à demander le paiement de tous leurs arriérés, dans l'espoir que l'exemple du Pérou sera suivi.

D'autre part, quant aux nouveaux arriérés des États dont les contributions, à partir de l'exercice de 1890, n'ont plus été comprises dans la distribution des parts contributives, mais calculées en dehors du budget effectif de 75000<sup>fr</sup>, on tiendra compte des rentrées éventuelles de leurs contributions, pour les rembourser aux autres Gouvernements, proportionnellement à leurs versements, afin que, à par-

tir du commencement de l'année 1890, le total des contributions effectives ne dépasse pas la somme de 75 000<sup>fr.</sup>.

*Le Rapporteur,*  
A. ARNDTSEN.

DE MACEDO.

*Le Président,*  
BERTRAND.

M. le PRÉSIDENT remercie la Commission et en particulier M. Arndtsen qui, bien qu'ayant assumé pour la première fois la tâche assez ardue de rapporteur, a su mettre une clarté et une précision parfaites dans l'exposé dont il vient de donner connaissance.

Aucune observation ne s'étant produite, M. le Président met aux voix les propositions de la Commission, et en particulier la prévision du budget de l'année prochaine.

*Le Comité adopte à l'unanimité le budget des dépenses pour l'exercice de 1892, contenu dans le rapport, et fixe en conséquence la somme des contributions pour cet exercice au chiffre effectif de 75 000<sup>fr.</sup>.*

Le bureau du Comité est chargé, comme d'habitude, d'adresser, avant la fin de cette année, aux Gouvernements des États contractants, un rapport spécial financier pour rendre compte sommairement de la situation, et pour faire connaître le tableau des parts contributives calculées sur la base de ce budget, en y comprenant cette fois le Mexique comme vingt et unième État signataire, et en utilisant pour la répartition autant que possible les données statistiques les plus récentes qu'il aura pu se procurer.

M. le PRÉSIDENT désire caractériser la situation financière générale.

Le Compte III (dépenses annuelles) présentera, d'après le rapport qu'on vient d'entendre, à la fin de l'année courante (1891), probablement un actif disponible de 29 000<sup>fr.</sup> environ, lorsque les quelques contributions réglementaires en retard seront rentrées. Cet excédent, qui provient des versements successifs pour la subvention extraordinaire destinée à remédier au déficit causé par les arriérés, sera

employé, d'après les décisions prises, essentiellement à couvrir les frais des publications étendues concernant la détermination des nouveaux prototypes.

D'autre part, le Compte I (Améliorations du matériel scientifique) offre actuellement un actif disponible d'environ 15 000<sup>fr</sup>, provenant surtout des contributions d'entrée des États qui ont adhéré dans les derniers temps. Cet actif, qui sera prochainement porté à 37 000<sup>fr</sup> environ par la contribution d'entrée du Mexique, servira à l'exécution des importantes études scientifiques, telles que le rattachement du mètre à la longueur des ondes lumineuses, et celui du poids du kilogramme à la masse d'un décimètre cube d'eau.

Enfin, le Compte II (Prototypes et témoins appartenant au Bureau) a un actif de 50 000<sup>fr</sup> environ et un passif de 66 000<sup>fr</sup>, que le Bureau doit pour les Prototypes, témoins, etc., qui ont été livrés, et auquel il faudra ajouter encore 12 000<sup>fr</sup> à 14 000<sup>fr</sup> pour les étalons à bouts qui sont encore à recevoir. Les actifs de ce Compte proviennent, comme on sait, des versements extraordinaires que les Gouvernements ont bien voulu accorder à l'établissement international sur la base de l'article 21 du Règlement. Aussitôt que les étalons à bouts seront livrés et vérifiés et leur prix fixé par le Gouvernement français, le Comité aura l'obligation de pourvoir au déficit de ce compte, qui atteindra 30 000<sup>fr</sup>.

En attendant, M. Foerster estime qu'il conviendrait de modifier la proposition de la Commission des finances à cet égard dans ce sens que, tout en renvoyant à une session ultérieure le règlement définitif du Compte II, on versât dès maintenant au Gouvernement français, pour les Prototypes et témoins fournis au Bureau, un à-compte qui pourrait aller jusqu'à 40 000<sup>fr</sup>, sans compromettre les actifs de réserve qu'il est toujours indiqué de conserver dans une certaine mesure.

En ayant égard au fait que le Compte II a dû prêter au Compte IV 30 000<sup>fr</sup> comme avances faites pour les appa-

reils auxiliaires des prototypes nationaux, on trouve, à la fin de l'année 1891, un actif disponible d'environ 73000<sup>fr</sup>, savoir :

37000	<sup>fr</sup>	au	Compte	I
29000		»		III
7000		»		II

En tenant compte de cet exposé, le *Comité décide le versement d'un à-compte de 40000<sup>fr</sup> au Gouvernement français pour les Prototypes et les témoins fournis au Bureau.*

M. le PRÉSIDENT rappelle que le Comité, après avoir dans la première séance entendu le rapport de M. le Directeur, l'a félicité de la marche satisfaisante des travaux du Bureau international. Depuis lors, le Comité a eu l'occasion de se convaincre de plus en plus du zèle infatigable et des succès avec lesquels les deux Adjoints ont coopéré à l'accomplissement de la tâche incombant au personnel scientifique de l'établissement. M. le Président propose donc, d'après l'exemple suivi déjà plusieurs fois, de témoigner à ces deux fonctionnaires l'entière satisfaction du Comité, en allouant à chacun d'eux une gratification de 1000<sup>fr</sup>.

*Cette proposition est adoptée à l'unanimité.*

M. le PRÉSIDENT, reprenant l'ordre du jour, attire l'attention du Comité sur la publication d'une Note de M. Bosscha, adressée à l'Académie des Sciences de Paris, au sujet de la comparaison entre le Mètre international et le Mètre des Archives. Ce n'est pas sur la discussion de la question métrologique, soulevée dans la Note de M. Bosscha, que M. Foerster voudrait provoquer l'intervention du Comité, car elle sera traitée naturellement dans la publication prochaine des observations de la Commission mixte chargée dans le temps de cette comparaison; mais comme M. Bosscha a cru devoir, contrairement à la déclaration faite par lui dans la deuxième séance de la Conférence générale

de 1889, mettre en doute le caractère fondamental du prototype international du Mètre, le bureau du Comité a pensé que, pour dissiper toute équivoque qui pourrait naître dans l'esprit de personnes qui ne sont pas entièrement au courant de l'histoire de la réforme du Système métrique, il conviendrait de répondre par une déclaration formelle, rappelant les rôles respectifs appartenant à l'ancien étalon et au nouveau prototype du Mètre.

Dans un entretien entre MM. Bertrand et Cornu, membres de la Commission mixte, et le bureau du Comité, l'accord a été complet sur les termes d'un projet de réponse rédigé par le Secrétaire et dont voici la teneur :

M. Bosscha, ancien délégué des Pays-Bas à la Commission internationale du Mètre, a communiqué à l'Académie des Sciences de Paris (voir *Comptes rendus*, séance du 31 août 1891) le résumé d'un Mémoire qu'il a publié sur la relation entre le Mètre international, le Mètre des Archives et la copie que les Pays-Bas possèdent de ce dernier.

Tout en renvoyant, pour la discussion scientifique de l'équation du Mètre des Archives par rapport au prototype international du Mètre, à la publication détaillée des comparaisons exécutées en 1884 par la Commission mixte instituée en commun par la Section française et le Comité des Poids et Mesures, comparaisons dont M. Bosscha croit avoir déduit d'autres résultats que ceux trouvés par cette Commission, le Comité international déclare que le prototype international du Mètre, en platine iridié, déposé au Bureau international des Poids et Mesures et sanctionné par la Conférence générale en 1889, est le seul représentant légal de l'unité fondamentale du Système métrique, reconnu par tous les pays, y compris la France, ayant adhéré à la Convention du Mètre.

Le Comité admet qu'il n'est pas sans intérêt d'établir aussi exactement que possible les rapports entre d'autres étalons importants et la nouvelle unité; mais lorsqu'il s'agit de comparer à cette unité, qui est un prototype à traits, un étalon à bouts, comme celui des Archives, le degré d'exactitude auquel on peut parvenir ne permet pas d'établir sûrement des équations aussi faibles que celles qui figurent dans le Mémoire de M. Bosscha.

Le Comité international des Poids et Mesures conclut que, dans l'intérêt de l'invariabilité et de l'unité des poids et mesures, il n'est

pas admissible de faire dépendre de corrections incertaines et incertaines la base du Système métrique, maintenant définie matériellement par le Prototype international.

M. BERTRAND approuve complètement la rédaction soumise, qui est bien l'expression des principes sur lesquels on a été unanime, et qui ne sauraient être mis en question par une discussion d'observations et de calculs ne pouvant aboutir qu'à modifier légèrement une équation numérique, et incapable d'affaiblir le caractère immuable du Mètre international proclamé prototype du Système métrique.

*Les termes de cette déclaration sont adoptés à l'unanimité par le Comité, et son bureau est chargé de s'entendre avec M. le Secrétaire perpétuel sur sa communication à l'Académie des Sciences.*

Comme M. Bosscha a eu connaissance des documents originaux se rapportant aux comparaisons de 1884, M. le PRÉSIDENT estime que, pour répondre en connaissance de cause à certaines critiques que le physicien néerlandais a formulées, il est nécessaire que ces documents soient accessibles au Comité.

M. le DIRECTEUR ayant fait remarquer qu'il en existe une copie au Bureau international, M. le Président, vis-à-vis de certaines allusions à des modifications qui auraient été apportées dans les réductions, insiste sur la nécessité de consulter les originaux.

M. BERTRAND répond que ces documents sont actuellement à la disposition du Comité. Il réunira au mois d'octobre la Section française et l'informera de la demande du Comité, et les documents seront confiés au Directeur du Bureau international.

M. WILD rappelle que, d'après une ancienne décision du Comité, les comparaisons dont il s'agit doivent être comprises dans la publication de toutes les observations ayant

trait à la détermination des prototypes; il serait désirable que cette publication eût lieu le plus tôt possible.

M. le PRÉSIDENT comprend que la Section française tiende à publier un travail auquel elle a contribué pour une part si importante, mais il n'en doit pas moins paraître également dans les *Travaux et Mémoires* du Bureau international.

Le Comité s'entendra avec M. Cornu sur les moyens de hâter cette publication.

M. le PRÉSIDENT prie les membres du Comité d'examiner pour la prochaine séance les listes autographiées qu'ils ont devant les yeux, et qui contiennent les adresses des Gouvernements, institutions et savants qui reçoivent les publications du Comité, et d'apporter des propositions éventuelles de modifications. Il fixe au vendredi 25, à 2 heures, cette séance, qui aura lieu dans le Cabinet du Secrétaire perpétuel de l'Académie, que M. Bertrand veut bien mettre de nouveau à la disposition du Comité.

La séance est levée à 4 heures trois quarts.

---

---

# PROCÈS-VERBAL

DE LA SIXIÈME SÉANCE.

Vendredi 25 septembre 1891.

PRÉSIDENTE DE M. FOERSTER.

---

La séance est ouverte à 2 heures.

Sont présents :

MM. ARNDTSEN, BENOÎT, BERTRAND, GOULD, HIRSCH, VON LANG,  
DE MACEDO, THALÉN.

Les procès-verbaux des deux séances précédentes sont lus et adoptés sans observations.

A la demande de M. le Président, le Secrétaire fait part au Comité d'une démarche que le bureau croit utile de faire auprès de la Légation mexicaine. Le Comité se souvient que, dans la dépêche lue à la deuxième séance, M. le Chargé d'affaires du Mexique ne parle que du paiement de la contribution d'entrée, mais qu'il n'y est pas fait mention de la contribution annuelle pour l'exercice courant, qui en droit strict serait exigible, attendu que l'adhésion officielle date de l'année 1890.

Le Comité se souvient également qu'à la réclamation du Gouvernement allemand il a été répondu que, si le Mexique versait déjà sa contribution pour l'année 1891, on tiendrait compte aux autres États du surplus payé par eux, en le dé-

duisant des parts contributives pour 1892. Le bureau du Comité doit donc être fixé sur les intentions du Gouvernement mexicain à cet égard, et si le Comité l'approuve, il va écrire dans ce sens à M. Baz.

Le Comité approuve cette démarche.

A cette occasion, M. le PRÉSIDENT aimerait pouvoir informer le représentant du Mexique de l'époque approximative à laquelle on pourra livrer à son pays le prototype à traits qu'il vient de commander.

M. le DIRECTEUR répond que les règles fournies dernièrement par la Section française étant au nombre de huit, une d'entre elles peut être destinée au Mexique, et comme leur étude est déjà commencée, il ne doute pas qu'on puisse la livrer dans le courant de l'été de 1892.

M. le PRÉSIDENT revenant sur le projet décidé en principe dans la dernière séance, d'inviter M. Michelson à venir exécuter à Breteuil l'étude de la relation entre le mètre et les longueurs d'onde, rappelle qu'il reste encore à voter le crédit nécessaire, qui sera d'environ 12000<sup>fr</sup>, et de désigner le Compte auquel il faut l'attribuer. Quant à ce dernier point, le bureau propose de porter sur le Compte I (Améliorations du matériel), non seulement le prix de l'instrument à construire, mais aussi les frais de voyage et d'indemnité personnelle. En effet, il y a des précédents en faveur d'une telle manière de procéder; car lorsque, dans le temps, on a recouru, pour les études concernant les prototypes, à la coopération de quelques savants étrangers, les frais personnels qui en sont résultés ont été portés sur le Compte II, qui est celui des prototypes internationaux.

M. HIRSCH appuie cette proposition, en faisant remarquer que le Compte I, qui va supporter ces frais, est précisément celui qui profitera de la rentrée prochaine de 22000<sup>fr</sup>

provenant de l'accession du Mexique. Les ressources nécessaires ne lui manqueront donc pas.

*Le Comité vote le crédit demandé jusqu'à concurrence de 12 000<sup>fr</sup>, et approuve l'inscription de cette dépense au Compte I.*

M. le PRÉSIDENT demande à connaître les propositions de ses collègues au sujet des listes de distribution qui leur ont été remises dans la dernière séance.

Plusieurs membres déclarent qu'ils n'ont pas eu le temps d'examiner suffisamment ces listes et pensent qu'on pourrait renvoyer cet objet à la prochaine session, pour qu'on puisse apporter les modifications désirables après mûre réflexion.

M. HIRSCH insiste sur la convenance qu'il y aurait de se prononcer cependant sur une question de principe, savoir s'il faut continuer à adresser les publications aux institutions et aux savants qui négligent d'envoyer à la Bibliothèque de Breteuil leurs publications à titre d'échange.

De plus, il serait fort utile de recevoir, dans l'espace de quelques mois, par correspondance, les propositions des collègues, que le bureau serait à même de coordonner, de sorte qu'à la prochaine session on pourrait soumettre au Comité un projet définitivement imprimé.

M. le PRÉSIDENT considère que, tout en faisant de nouveaux efforts pour provoquer les échanges, il ne faudrait pas faire encore de cette question des échanges une condition *sine qua non* des envois. Il estime en outre qu'on devrait distinguer entre la liste d'envoi des *Procès-Verbaux* et celle des *Travaux et Mémoires*.

Cet avis de M. le Président est partagé par le Comité, qui décide d'autre part que les Membres devront envoyer leurs propositions au bureau avant la fin de l'année.

**M. le PRÉSIDENT**, constatant que l'ordre du jour est épuisé, déclare close la session de 1891, et remercie ses Collègues de lui avoir facilité avec tant de bonne grâce la tâche qu'ils lui ont fait l'honneur de lui confier.

**La séance est levée à 3 heures.**



---

# PROCÈS-VERBAL

DE LA SEPTIÈME SÉANCE,

Samedi 26 septembre 1891.

PRÉSIDENCE DE M. FOERSTER.

---

Sont présents :

MM. ARNDTSEN, BENOÎT, BERTRAND, GOULD, HIRSCH, VON  
LANG, DE MACEDO, THALÉN.

Le SECRÉTAIRE donne lecture du procès-verbal de la der-  
nière séance, qui est adopté sans observations.

Signé : J. BERTRAND.  
W. FOERSTER.  
A. ARNDTSEN.  
D<sup>r</sup> AD. HIRSCH.  
B.-A. GOULD.  
C<sup>te</sup> DE MACEDO.  
ROB. THALÉN.  
D<sup>r</sup> R. BENOÎT.  
LANG.

---



# ANNEXES

AUX

PROCÈS-VERBAUX DE 1891.



---

ANNEXE I.

M E S U R E

DE

L'INTENSITÉ ABSOLUE DE LA PESANTEUR

DANS LA SALLE DU COMPAREUR UNIVERSEL,

AU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES, A BRETEUIL;

Par le commandant DEFFORGES,

du Service géographique de l'armée française.

---

INTRODUCTION.

Au mois de décembre 1887, M. J. BERTRAND, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, Membre français du Comité international des Poids et Mesures, adressa à M. le Ministre de la Guerre de France la lettre suivante :

« MONSIEUR LE MINISTRE,

« Le Comité international des Poids et Mesures, sur la proposition de M. Foerster, a émis le vœu, dans le cours de la session de 1886, que les géodésiens français veuillent bien se charger de la détermination de l'intensité de la pesanteur, soit au Bureau international des Poids et Mesures, soit à la station où Regnault a accompli ses immortels travaux.

» Tout récemment encore, la même question étant revenue à l'ordre du jour, le Comité a insisté sur l'urgence de cette détermination, et pensé que cette détermination pourrait être utilement confiée aux soins du Service géographique de la Guerre, placé sous la direction de notre éminent confrère, M. le général Perrier.

» J'ose espérer, Monsieur le Ministre, que vous approuverez ce projet, auquel s'attache un intérêt scientifique, apprécié par les représentants de tous les grands États de l'Europe, et c'est avec confiance que j'ai l'honneur de vous transmettre la délibération du Comité. »

Déférant au désir exprimé par M. J. Bertrand, le Ministre de la Guerre prescrivit au Service géographique de faire exécuter à Breteuil, au Bureau international des Poids et Mesures, avec toute la précision possible, la mesure de l'intensité absolue de la pesanteur.

Cette opération fut confiée par feu le général Perrier et par son successeur, M. le général Derrécagaix, directeurs du Service géographique, au commandant Defforges, de la section de Géodésie. Les mesures devaient être faites dans le vide et dans l'air successivement, avec les pendules réversibles construits, sur les indications de cet officier, par MM. Brunner frères, les habiles artistes-mécaniciens bien connus. M. le capitaine Lubanski, de la section de Géodésie, fut désigné pour assister M. Defforges dans cette opération.

Les deux facteurs essentiels d'une détermination de  $g$  sont la mesure d'un temps et la mesure d'une longueur. En ce qui concerne le temps, il fut décidé tout d'abord que, pour s'affranchir du soin de la détermination de l'heure, on transporterait télégraphiquement au pavillon de Breteuil l'heure de l'Observatoire de Paris. D'accord avec M. le Directeur du Bureau international, le regretté M. O.-J. Broch, la salle du comparateur universel fut choisie comme lieu d'observation, à cause de la remarquable égalité de sa température.

Avec l'autorisation gracieuse de M. l'amiral Mouchez, directeur de l'Observatoire, une excellente horloge de Breguet (n° 4), appartenant au Service géographique, fut installée à l'Observatoire de Paris, dans le rez-de-chaussée de la tour de l'Est, où elle était chaque jour comparée, par trente signaux enregistrés automatiquement sur un chronographe, à la pendule Fénon qui est le garde-temps étalon de l'Observatoire.

L'Administration des Télégraphes avait bien voulu consentir à relier l'Observatoire de Paris avec le pavillon de Breteuil par une communication métallique directe, établie pour l'usage exclusif des observateurs, et qui est restée constamment à leur disposition pendant toute la durée du travail, c'est-à-dire pendant deux mois entiers. La pendule Breguet, par l'intermédiaire de ce fil spécial, dans lequel elle lançait, toutes les deux secondes, un courant d'une durée de 0<sup>s</sup>, 1 environ, synchronisait à distance, suivant la méthode et à l'aide

du dispositif de M. Cornu, une très bonne horloge de Berthoud (n° 2), appartenant au Service géographique, installée dans la salle du comparateur. L'horloge de Berthoud (n° 2) et l'horloge de Breguet (n° 1), battant la seconde synchroniquement, avaient donc toutes deux la même marche par rapport à la pendule Fénon, et, par conséquent, par rapport au temps sidéral. L'horloge de Berthoud fournissait donc à Breteuil le terme de comparaison entre la durée d'une oscillation des pendules d'expérience et la seconde sidérale.

On convint, en outre, pour ce qui regarde la longueur de la distance entre les arêtes des couteaux, qu'elle serait déterminée directement par comparaison avec deux étalons du Bureau international. M. le D<sup>r</sup> R. Benoît, premier Adjoint dudit Bureau, aujourd'hui son Directeur, voulut bien prêter son concours et les lumières de son expérience aux officiers du Service géographique, et exécuter, de concert avec eux, l'étalonnage des pendules long et court de Brunner. Qu'il nous soit permis, à cette occasion, de le remercier vivement, ainsi que M. Broch, de son inépuisable complaisance et de ses conseils précieux.

---

## I. — Méthode et Appareils.

---

### PRINCIPE DE LA MÉTHODE.

Le principe sur lequel sont fondés les pendules réversibles construits par Brunner pour le Service géographique de l'armée a été exposé déjà dans les *Comptes rendus hebdomadaires de l'Académie des Sciences* (t. CVI, p. 126-191), dans les *Comptes rendus de l'Association géodésique internationale* (Congrès de Nice), dans le *Bulletin de la Société française de Physique* (1888) et dans le *Journal de Physique* (juin, août et octobre 1888).

Nous résumerons rapidement les considérations qui ont conduit à l'énoncer.

Le pendule réversible symétrique, à couteaux échangeables, est le résultat des idées et des travaux accumulés de de Prony, du Buat, Bohnenberger, Kater et Bessel. Dans la forme que lui ont donnée les frères Repsold, les célèbres constructeurs de Hambourg, il élimine, par la réversion, l'erreur de la position du centre d'oscillation; par la symétrie de la forme, l'effet total du milieu ambiant; par l'échange

des couteaux, l'influence du roulement de leurs arêtes sur le plan de suspension.

Mais ce pendule, assez lourd et muni d'un support portatif relativement léger, entraîne ce support dans son mouvement et le fait osciller synchroniquement avec lui. Il en résulte un accroissement de la durée d'oscillation ou un allongement du pendule synchrone. Cet effet a été étudié successivement par MM. Peirce, Plantamour, Cellérier et par nous-même.

Malgré quelques obscurités de la théorie, on peut, au point de vue expérimental, accepter comme toujours suffisante la formule de correction donnée par Peirce

$$\Delta l = \frac{p \varepsilon h}{l},$$

où  $p$  est le poids du pendule,  $h$  la distance du centre de gravité à la suspension,  $l$  la longueur du pendule synchrone, et  $\varepsilon$  le coefficient *statique* <sup>(1)</sup> d'élasticité du support.

On avait admis, jusqu'à ces derniers temps, que les arêtes des couteaux d'un pendule, pendant le mouvement, roulent sans glissement sur le plan de suspension, à la façon d'une roue de voiture sur un pavé. Une longue série d'expériences en diverses stations nous avait mis depuis plusieurs années sur la trace d'un glissement du couteau sur le plan de suspension. Une étude complète de ce glissement vient d'être terminée et sera incessamment publiée. Nous en donnons ici les principaux résultats.

Par suite du poids du pendule, le couteau s'imprime dans le plan de suspension dont la matière cède sous la pression. Il se forme une sorte de sillon, de forme et de bords variables, dans lequel s'effectue, entre l'arête et le plan, un glissement très semblable à la rotation d'un tourillon dans son coussinet.

Le mouvement réel du pendule s'effectue donc à l'aide de deux rotations. Pendant le mouvement angulaire élémentaire  $d\theta$  qui fait passer le pendule d'une position à la position voisine, celui-ci tourne d'un angle  $m d\theta$  autour de son point de contact avec le plan de suspension, d'un angle  $n d\theta$  autour du centre de courbure de l'arête cor-

---

(1) *Voir*, au sujet de la distinction entre les coefficients statique et dynamique : *Journal de Physique* et *Bulletin de la Société française de Physique* (*loc. cit.*).

respondant à l'élément de contact, et l'on a toujours

$$m + n = 1.$$

Les choses se passent comme si le pendule tournait d'un angle  $d\theta$  autour d'un centre instantané de rotation, situé entre le point de contact et le centre de courbure, au-dessus du plan de suspension et à une distance  $n\rho$ ,  $\rho$  étant le rayon de courbure.

Le glissement paraît dépendre du rayon de courbure de l'arête. Il est proportionnel au poids et à la vitesse angulaire du pendule. Il est donc maximum lorsque le pendule passe par la verticale. Avec les instruments de Brunner, à une amplitude de  $30'$ , le glissement total pendant une oscillation entière est d'environ  $0^u, 2$ .

On démontre aisément par l'analyse que, dans ces conditions, l'effet du glissement est d'accroître la longueur du pendule synchrone de la quantité

$$2n\rho.$$

Le coefficient  $n$  a pour expression

$$n = Ap\alpha,$$

où  $\alpha$  est l'amplitude de l'oscillation considérée et  $A$  une constante qui dépend de la forme et de la matière aussi bien du couteau que du plan de suspension.

D'après ce qui précède, les résultats de l'observation pourraient être corrigés des effets combinés du mouvement du support et du glissement de l'arête à l'aide de formules linéaires très simples dépendant des coefficients  $\varepsilon$  et  $A$ , qui devraient alors être mesurés par des expériences convenables.

Mais il faut remarquer que les coefficients de  $\varepsilon$  et de  $A$ , dans les formules de correction, sont relativement grands et multiplient par conséquent l'erreur commise dans la mesure de ces deux constantes. On doit observer en outre que si, pour diminuer cette erreur, on augmente notablement soit la force  $F$  qui, comparée au déplacement  $\sigma$  qu'elle produit, donne  $\varepsilon$ , soit le poids  $p$  et l'amplitude  $\alpha$  dans la détermination de  $A$ , on s'écarte des conditions mêmes des observations destinées à la mesure de la pesanteur, et l'on s'éloigne du but à atteindre au lieu de s'en rapprocher.

C'est pourquoi nous avons pensé qu'il était préférable d'éliminer, par la construction des appareils et la méthode d'observation, l'in-

fluence réunie du support et du glissement, comme Bessel avait lui-même proposé d'éliminer l'effet de l'air ou le roulement du couteau à l'aide du pendule réversible symétrique.

On y arrive par l'emploi de deux pendules, pourvu qu'ils soient de longueurs différentes, qu'ils aient le même poids et qu'ils oscillent, à l'aide des mêmes couteaux, sur le même support.

En effet, si l'on appelle :

$\lambda_1, \lambda_2$  les distances des couteaux des deux pendules, distingués l'un de l'autre par les indices 1 et 2 ;

$T_1, T'_1, T_2, T'_2$  les durées d'oscillation observées dans une combinaison des couteaux ;

$\mathcal{C}_1, \mathcal{C}'_1, \mathcal{C}_2, \mathcal{C}'_2$  les mêmes durées mesurées après l'échange des couteaux ;

$h_1, h'_1, h_2, h'_2$  les distances des centres de gravité à la suspension ;

$\rho, \rho'$  les rayons de courbure moyens des couteaux dans les limites d'amplitude considérées, limites d'amplitude qui doivent être les mêmes pour les deux pendules dans toutes les séries d'observations ;

$\gamma_1$  et  $\gamma_2$  l'action totale de l'air ;

$\pi$  le rapport de la circonférence au diamètre ;

$g$  l'intensité de la pesanteur ;

on aura :

1° Avant l'échange des couteaux :

*Pendule long.*

$$\text{PLB} \quad T_1^2 = \frac{\pi^2}{g} \lambda_1 \left( 1 + \frac{\gamma_1}{h_1} - \frac{\rho}{h_1} + \frac{2n_1 \rho}{\lambda_1} + \frac{P_1 \varepsilon h_1}{\lambda_1^2} \right).$$

$$\text{PLH} \quad T_1'^2 = \frac{\pi^2}{g} \lambda_1 \left( 1 + \frac{\gamma_1}{h'_1} - \frac{\rho'}{h'_1} + \frac{2n_1 \rho'}{\lambda_1} + \frac{P_1 \varepsilon h'_1}{\lambda_1^2} \right).$$

*Pendule court.*

$$\text{PLB} \quad T_2^2 = \frac{\pi^2}{g} \lambda_2 \left( 1 + \frac{\gamma_2}{h_2} - \frac{\rho}{h_2} + \frac{2n_2\rho}{\lambda_2} + \frac{P_2\varepsilon h_2}{\lambda_2^2} \right).$$

$$\text{PLH} \quad T_2'^2 = \frac{\pi^2}{g} \lambda_2 \left( 1 + \frac{\gamma_2}{h_2'} - \frac{\rho'}{h_2'} + \frac{2n_2\rho'}{\lambda_2} + \frac{P_2\varepsilon h_2'}{\lambda_2^2} \right).$$

2° Après l'échange des couteaux :

*Pendule long.*

$$\text{PLB} \quad \mathcal{C}_1^2 = \frac{\pi^2}{g} \lambda_1 \left( 1 + \frac{\gamma_1}{h_1} - \frac{\rho'}{h_1} + \frac{2n_1\rho'}{\lambda_1} + \frac{P_1\varepsilon h_1}{\lambda_1^2} \right).$$

$$\text{PLH} \quad \mathcal{C}_1'^2 = \frac{\pi^2}{g} \lambda_1 \left( 1 + \frac{\gamma_1}{h_1'} - \frac{\rho}{h_1'} + \frac{2n_1\rho}{\lambda_1} + \frac{P_1\varepsilon h_1'}{\lambda_1^2} \right).$$

*Pendule court.*

$$\text{PLB} \quad \mathcal{C}_2^2 = \frac{\pi^2}{g} \lambda_2 \left( 1 + \frac{\gamma_2}{h_2} - \frac{\rho'}{h_2} + \frac{2n_2\rho'}{\lambda_2} + \frac{P_2\varepsilon h_2}{\lambda_2^2} \right).$$

$$\text{PLH} \quad \mathcal{C}_2'^2 = \frac{\pi^2}{g} \lambda_2 \left( 1 + \frac{\gamma_2}{h_2'} - \frac{\rho}{h_2'} + \frac{2n_2\rho}{\lambda_2} + \frac{P_2\varepsilon h_2'}{\lambda_2^2} \right).$$

Pour appliquer le principe de la réversion, tel que l'a énoncé Bessel, on forme les quantités que nous avons proposé d'appeler les durées d'oscillation théoriques d'un pendule réversible.

1° Avant l'échange :

*Pendule long.*

$$\tau_1^2 = \frac{h_1 T_1^2 - h_1' T_1'^2}{h_1 - h_1'} = \frac{\pi^2}{g} \lambda_1 \left[ 1 - \frac{\rho - \rho'}{h_1 - h_1'} + \frac{2n_1(h_1\rho - h_1'\rho')}{\lambda_1(h_1 - h_1')} + \frac{P_1\varepsilon}{\lambda_1} \right].$$

*Pendule court.*

$$\tau_2^2 = \frac{h_2 T_2^2 - h_2' T_2'^2}{h_2 - h_2'} = \frac{\pi^2}{g} \lambda_2 \left[ 1 - \frac{\rho - \rho'}{h_2 - h_2'} + \frac{2n_2(h_2\rho - h_2'\rho')}{\lambda_2(h_2 - h_2')} + \frac{P_2\varepsilon}{\lambda_2} \right].$$

faisant ainsi disparaître l'effet total de l'air ;

2° Après l'échange :

*Pendule long.*

$$\tau_1'^2 = \frac{h_1 \mathfrak{C}_1^2 - h_1' \mathfrak{C}_1'^2}{h_1 - h_1'} = \frac{\pi^2}{g} \lambda_1 \left[ 1 - \frac{\rho' - \rho}{h_1 - h_1'} + \frac{2n_1(h_1' \rho - h_1 \rho')}{\lambda_1(h_1 - h_1')} + \frac{p_1 \varepsilon}{\lambda_1} \right].$$

*Pendule court.*

$$\tau_2'^2 = \frac{h_2 \mathfrak{C}_2^2 - h_2' \mathfrak{C}_2'^2}{h_2 - h_2'} = \frac{\pi^2}{g} \lambda_2 \left[ 1 - \frac{\rho' - \rho}{h_2 - h_2'} + \frac{2n_2(h_2' \rho - h_2 \rho')}{\lambda_2(h_2 - h_2')} + \frac{p_2 \varepsilon}{\lambda_2} \right].$$

Groupant deux par deux les durées théoriques et prenant les moyennes, on élimine l'effet du roulement :

$$(1) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Pendule long...} \quad \tau_{m_1}^2 = \frac{\tau_1^2 + \tau_1'^2}{2} = \frac{\pi^2}{g} \lambda_1 \left( 1 + n_1 \frac{\rho + \rho'}{\lambda_1} + \frac{p_1 \varepsilon}{\lambda_1} \right). \\ \text{Pendule court...} \quad \tau_{m_2}^2 = \frac{\tau_2^2 + \tau_2'^2}{2} = \frac{\pi^2}{g} \lambda_2 \left( 1 + n_2 \frac{\rho + \rho'}{\lambda_2} + \frac{p_2 \varepsilon}{\lambda_2} \right). \end{array} \right.$$

Et enfin, par une différence, on peut encore s'affranchir du glissement du couteau et de l'effet du support, si  $n_1 = n_2$  et si  $p_1 = p_2$ ,

$$\tau_{m_1}^2 - \tau_{m_2}^2 = \frac{\pi^2}{g} (\lambda_1 - \lambda_2).$$

Or, d'après ce que nous avons dit plus haut, si  $p_1 = p_2$ , il suffit, les pendules oscillant sur les mêmes couteaux et sur le même support, que les limites d'amplitude soient les mêmes dans les observations faites avec les deux pendules, pour que  $n_1 = n_2$ .

Donc, on peut éliminer entièrement l'effet du support et celui des rayons de courbure des couteaux, en faisant osciller, dans les mêmes limites d'amplitude, sur le même support et avec les mêmes couteaux, deux pendules de même poids et de longueurs différentes.

L'élimination des deux causes d'erreur sus-énoncées, l'entraînement du support et l'effet total de la courbure des couteaux, n'est pas le seul avantage de la méthode. Toutes les causes d'erreurs

systématiques, et elles sont nombreuses, qui peuvent affecter la mesure de la longueur, disparaissent dans la différence  $\lambda_2 - \lambda_1$  des longueurs des deux pendules, qui entre seule dans la formule.

Ainsi, l'équation personnelle du pointé sur l'arête, qui se double dans la mesure de la longueur d'un pendule réversible à cause de l'opposition des arêtes des couteaux, disparaît dans la différence  $\lambda_2 - \lambda_1$ .

Ainsi encore, l'influence inconnue sur la longueur, pendant le mouvement, de l'écrasement du couteau s'élimine dans la différence  $\lambda_2 - \lambda_1$ , puisque les deux pendules, ayant même poids, doivent également déformer leurs couteaux, s'ils oscillent dans les mêmes limites d'amplitude.

Au point de vue de la pratique du calcul, si l'on appelle  $T_{m_1}$  et  $T'_{m_1}$ ,  $T_{m_2}$  et  $T'_{m_2}$  les durées moyennes d'oscillation observées dans les diverses séries effectuées avec les deux pendules, poids lourd en bas (PLB) et poids lourd en haut (PLH), aussi bien avant qu'après l'échange des couteaux,  $\tau_{m_1}$  et  $\tau_{m_2}$  ont pour expression

$$\tau_{m_1}^2 = \frac{h_1 T_{m_1}^2 - h'_1 T'^2_{m_1}}{h_1 - h'_1},$$

$$\tau_{m_2}^2 = \frac{h_2 T_{m_2}^2 - h'_2 T'^2_{m_2}}{h_2 - h'_2},$$

d'où l'on déduit, avec une approximation suffisante, les formules habituellement employées

$$(2) \quad \left\{ \begin{array}{l} \tau_{m_1} = T_{m_1} + \frac{h_1}{h_1 - h'_1} (T_{m_1} - T'_{m_1}) + \dots, \\ \tau_{m_2} = T_{m_2} + \frac{h_2}{h_2 - h'_2} (T_{m_2} - T'_{m_2}) + \dots \end{array} \right.$$

DESCRIPTION DE L'APPAREIL DE BRUNNER.

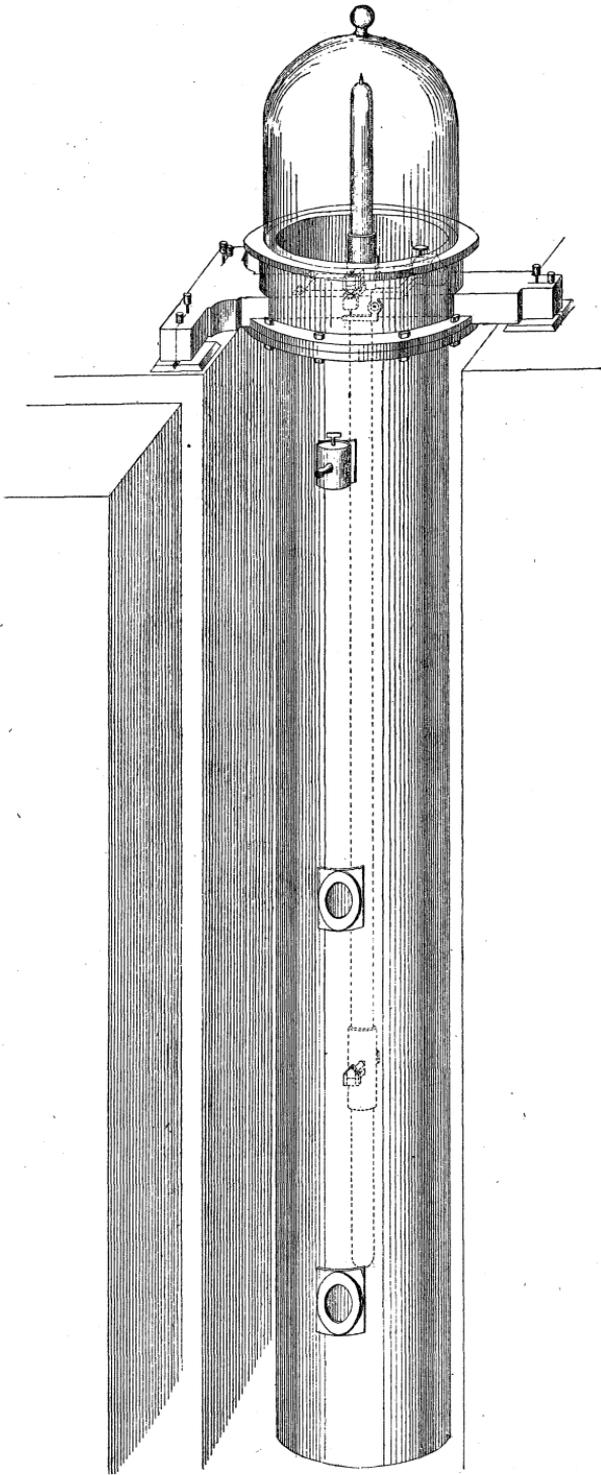
L'appareil construit sur ces principes par MM. Brunner frères comprend :

1° Deux pendules, ayant 1<sup>m</sup> et 0<sup>m</sup>,50 entre les arêtes de leurs couteaux communs;

2° Un plateau en bronze, servant de support et destiné à être scellé à deux piliers; à ce plateau est fixée une cloche en cuivre rouge qui enveloppe le pendule;

3° Un appareil pour mesurer l'étendue de l'entraînement du support par les pendules en mouvement;

4° Un appareil destiné à l'observation des coïncidences. (*Voir ci-contre.*)





*Pendules.* — Ils sont formés de tubes creux en laiton, de 0<sup>m</sup>.030 de diamètre, de 0<sup>m</sup>.003 d'épaisseur, longs de 1<sup>m</sup>.476 et de 0<sup>m</sup>.783, terminés par des demi-sphères munies de pointes cylindro-coniques, qui servent à la fois à vérifier les pendules sur le tour et à observer les coïncidences. A ces tubes sont soudés les porte-couteaux, formés d'un court manchon en bronze portant deux oreilles en saillie, venues de fonte avec lui. Les oreilles servent d'appui aux couteaux, qui y sont appliqués par des brides de pression à vis. A l'intérieur des cylindres de laiton, une masse de plomb pour le pendule long, deux pour le pendule court, convenablement disposées, assurent la réversibilité. Les pendules sont extérieurement symétriques par rapport à leur centre de figure.

Ils ont même poids, 5<sup>kg</sup>.200, à 1<sup>g</sup> près.

Les couteaux employés sont en agate. Ils ont la forme d'un prisme à cinq pans, symétrique, avec deux dièdres droits. Les faces qui forment l'arête, inclinées à 60° l'une sur l'autre, sont terminées par deux biseaux microscopiques (d'environ 0<sup>mm</sup>.1 de largeur), qui se coupent sous l'angle de 120°, laissant entre leurs plans une arête de forme arrondie, dont la largeur ne dépasse pas 2 ou 3 microns.

Les couteaux, identiques l'un à l'autre, sont, par conséquent, échangeables, et peuvent être adaptés indifféremment aux deux pendules. Leur dos est un plan aussi parfait que possible et s'appuie sur la surface des oreilles, soigneusement travaillée au tour. Des dispositions spéciales et minutieuses sont prises pour éviter toute flexion ou déformation provenant du serrage des couteaux par les brides à vis qui les fixent aux oreilles.

Pour définir et reproduire à volonté une position relative des couteaux et des pendules, les oreilles sont marquées, l'une de la lettre A, l'autre de la lettre B à leurs deux extrémités. L'une des extrémités porte, en outre, un point sous la lettre, pour la distinguer de l'autre. Les couteaux portent eux-mêmes une lettre à l'une seulement de leurs faces terminales, l'un d'eux est marqué A<sub>2</sub>, l'autre B<sub>3</sub>. Une combinaison quelconque des couteaux et des pendules peut donc être aisément définie par l'énoncé des couples de lettres qui se correspondent.

Exemple :  $\begin{matrix} A & B_3 \\ B & A_2 \end{matrix}$  représente la combinaison dans laquelle les couteaux A<sub>2</sub> et B<sub>3</sub> sont fixés au pendule de façon que leurs extrémités marquées d'une lettre correspondent aux oreilles du pendule marquées A et B.

*Plateau de support.* — Pour avoir un support aussi ferme et aussi inébranlable que possible, il faut avoir recours à la maçonnerie. Le support se réduit donc à un bloc de bronze massif, percé d'une ouverture rectangulaire pour le passage des pendules, et portant, enchâssés dans le bronze, deux plans d'agate sur lesquels reposent les couteaux. Non loin de ces deux plans, le constructeur en a monté deux autres plus petits, de forme circulaire, destinés à faciliter le nivellement de l'appareil. Ces quatre plans, disposés aux quatre sommets d'un même carré, une fois fixés dans leur logement, ont été travaillés comme un verre d'optique, suivant une même surface aussi plane que possible. Ils ont ensuite reçu un poli parfait. Un petit niveau de 30", muni de trois pointes, peut être placé sur ces plans suivant les quatre faces du carré, et permet ainsi d'assurer et de vérifier dans toutes ces directions le nivellement exact du support. Une fourche mobile, dont les branches sont disposées de chaque côté du bloc de bronze, reçoit le pendule sur deux V, et, par le mouvement d'une vis de rappel, l'abaisse sans choc et le dépose doucement, toujours à la même place, sur les agates. Le plateau repose, par trois vis calantes, sur trois crapaudines massives en bronze, noyées en partie et scellées dans deux piliers. Trois fortes vis, engagées dans les crapaudines, permettent d'y lier invariablement le plateau après que le plan des agates a été rendu horizontal à l'aide d'un niveau. Le support fait alors, pour ainsi dire, corps avec les piliers. La stabilité en est telle que, une fois nivelé, il reste réglé, à moins d'une demi-division du niveau, pendant des mois entiers.

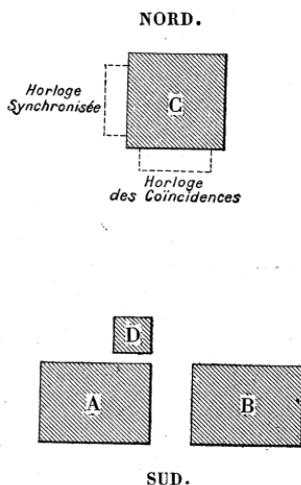
Au plateau de bronze s'adapte une cloche cylindrique étanche, en cuivre rouge, de 0<sup>m</sup>,22 de diamètre intérieur, munie de quatre regards fermés par des glaces à faces parallèles. Une tubulure permet d'y fixer un baromètre ou un manomètre. Un robinet Carré à glycérine la met, par un tube flexible, en communication avec l'appareil à faire le vide. Une cloche en verre, analogue à la cloche habituelle des machines pneumatiques, reposant sur une platine parfaitement dressée, surmonte le tout.

Nous ne décrivons ici, pour ne pas allonger outre mesure ce résumé, ni l'appareil qui sert à mesurer l'élasticité du support, ni l'appareil et la méthode employés pour l'observation des coïncidences. Nous nous bornerons à dire que ceux-ci sont tellement combinés qu'ils permettent, aux amplitudes moyennes, de déterminer, à  $\frac{1}{1000000}$  près, en moins de vingt minutes, le rapport des durées

d'oscillation du balancier de l'horloge et du pendule d'observation, et qu'ils permettent également de prolonger les observations jusqu'aux plus petites amplitudes, 2' ou même 1' de degré.

INSTALLATION DES APPAREILS DANS LA SALLE DU COMPAREUR  
UNIVERSEL.

*Piliers.* — Par les soins et aux frais du Bureau international, quatre piliers (A, B, C, D), en briques et ciment, isolés du parquet et solidement fondés, avaient été construits dans la salle du comparateur universel.



Installation des piliers dans la salle  
du comparateur universel.

(Plan.)

Les deux piliers A et B, de 1<sup>m</sup>,50 de hauteur, assis sur le même massif de fondation et, par conséquent, solidaires par leur base, supportaient le pendule par l'intermédiaire du plateau de bronze, déjà décrit, et des trois crapaudines scellées au plâtre sur leur face supérieure. L'orientation des piliers A et B était telle que les pendules oscillaient dans le premier vertical.

Le pilier C, de 2<sup>m</sup> de haut et de section carrée de 0<sup>m</sup>,60 de côté, supportait sur sa face sud l'horloge et l'appareil des coïncidences, et sur sa face ouest l'horloge Berthoud (n° 2), synchronisée à distance par l'Observatoire de Paris.

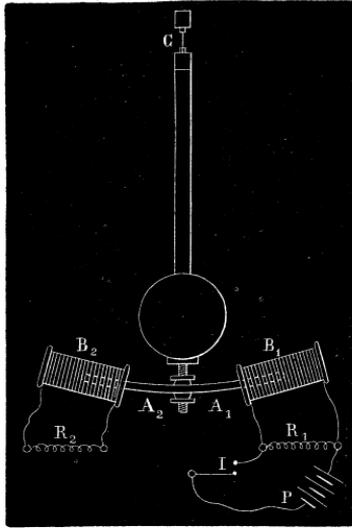
Le pilier D, en avant de A et B, servait d'appui à la lunette destinée à mesurer l'entraînement du support par le déplacement des franges d'interférence.

*Synchronisation.* — Le procédé de synchronisation adopté est exposé en détail dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*; nous en extrairons les deux principes et la description suivante :

« a. Pour qu'un système oscillant puisse être synchronisé, il faut et il suffit que le mouvement libre du système soit une oscillation amortie; le régime stable est d'autant plus rapidement atteint que l'amortissement est plus grand. »

« b. Lorsque la force synchronisante et le mouvement synchronisé sont représentés par la loi pendulaire simple, il existe toujours une différence de phase entre la force et le mouvement; cette différence de phase, conséquence de l'amortissement, correspond toujours à un retard du mouvement synchronisé. »

« c. *Dispositif général.* — On fixe transversalement à la tige



du balancier à synchroniser, au-dessous (ou au-dessus) de la lentille et dans le plan d'oscillation, un barreau aimanté  $A_1A_2$  courbé suivant une circonférence concentrique à la suspension C : deux bo-

bines, en bois ou en ébonite, couvertes de fil de cuivre isolé  $B_1B_2$ , enveloppent respectivement les extrémités de ce barreau; leurs axes coïncident avec la direction moyenne de déplacement du pôle correspondant. L'une de ces bobines  $B_1$  reçoit le courant électrique synchronisant (liaison synchronique) et fonctionne par attraction sur le pôle d'aimant qu'elle enveloppe; l'autre  $B_2$ , fermée sur une résistance convenable  $R_2$ , produit, par l'action inductrice de l'autre pôle, l'amortissement nécessaire à la synchronisation. »

En réglant convenablement le courant de synchronisation et l'amortissement, on arrive à obtenir un synchronisme parfait.

Pendant toute la durée des mesures, c'est-à-dire pendant les mois entiers de mars et d'avril, la synchronisation a été entièrement satisfaisante. Vers le milieu d'avril seulement, sous l'influence de l'appauvrissement de la pile, le courant synchronisant et, par conséquent, l'amplitude ont baissé. L'horloge s'est arrêtée pendant une nuit, inutilisée pour les observations (nuit du 21 au 22 avril). Un peu de sulfate de cuivre ajouté à la pile a tout remis en état.

La résistance de la ligne était de 2040 ohms, la pile de 6 éléments Callaud, petit modèle.

*Vide.* — Le vide était fait dans la cloche à l'aide d'une trompe à eau assez puissante, appartenant au Bureau international et installée dans la salle du comparateur à dilatation.

Pour la dernière série seulement du pendule long dans le vide (PLB), le vide a été poussé jusqu'à  $1^{mm},6$  à l'aide d'une pompe à mercure. A la tubulure de la cloche à vide était fixé, pour la mesure des pressions, un baromètre à mercure à échelle divisée sur bois, appartenant au Bureau international et dont les corrections de l'échelle nous ont été fournies par M. R. Benoit.

*Température.* — La température de la salle a été donnée pendant toute la durée des observations par le thermomètre n° 4257 du Bureau international, placé et lu à l'aide d'une lunette dans le comparateur ouvert.

La température de la cloche était fournie par deux thermomètres de Tonnelot appartenant au Service géographique, n°s 3338 et 4082, placés, l'un à l'intérieur de la cloche à vide, à hauteur des regards du milieu, l'autre sous la cloche en verre supérieure.

---

## II. — Observations.

D'après la méthode exposée, la mesure de  $g$ , à l'aide des deux pendules de Brunner, exige la détermination aussi exacte que possible des durées d'oscillation  $T_{m_1}, T'_{m_1}, T_{m_2}, T'_{m_2}$  des pendules long et court autour de chacun de leurs couteaux communs, la mesure, exécutée avec la dernière précision, de la différence  $\lambda_1 - \lambda_2$  de leurs longueurs, et la connaissance des rapports  $\frac{h_1}{h_1'} \frac{h_2}{h_2'}$  avec une approximation moindre.

Nous présenterons donc successivement l'ensemble des observations relatives :

- 1° A la détermination de la durée d'oscillation ;
- 2° Aux mesures de la longueur ;
- 3° A la recherche des centres de gravité.

### 1° DÉTERMINATION DE LA DURÉE D'OSCILLATION.

Les déterminations de la durée ont été faites d'abord dans l'air en vase clos, puis dans un vide partiel, entre 2<sup>cm</sup> et 4<sup>cm</sup> de mercure. La durée d'une oscillation des pendules de Brunner était comparée à la seconde sidérale par l'intermédiaire de l'horloge des coïncidences et de l'horloge synchronisée (Berthoud n° 2). Celle-ci ou, ce qui revient au même, l'horloge synchronisante (Breguet n° 1) de même marche, était comparée à la pendule Fénon, de l'Observatoire de Paris, dont la marche était donnée par ledit Observatoire.

*Marche de la pendule de Fénon.* — L'état de la pendule de Fénon, pendant la période des mesures, tel qu'il nous a été très obligeamment fourni par M. le contre-amiral Mouchez, directeur de l'Observatoire, est contenu dans le Tableau ci-dessous.

Dates.	$C_p = R - T.$		$H_m.$	Observateurs.
Mars 15.....	+4,57	à	10,0	} O. Callandreau.
» 21.....	+3,83		6,7	
Avril 3.....	+1,82		9,6	
Mars 28.....	+2,89		15,6	} Hamy.
» 31.....	+2,06		16,5	

Dates.	$C_p = R - T.$		$H_m.$	Observateurs.
Avril 7.....	+1,89 <sup>s</sup>	à	12,5 <sup>h</sup>	} O. Callandreau.
» 10.....	+1,84		11,1	
» 14.....	+1,82		11,5	
» 16.....	+1,83		11,9	
» 17.....	+1,99		12,9	
» 18.....	+1,94		12,5	
» 19.....	+2,20		9,0	} O. Callandreau et Hamy.
» 21.....	+1,95		11,0	
» 24.....	+2,12		0,6	
» 26.....	+2,06		10,2	

On en conclut, en temps sidéral, la valeur d'une seconde de la pendule Fénon :

Dates.	1 seconde Fénon.
	s. sid.
Du 15 au 21 mars.....	0,999 9986
Du 21 au 28 mars.....	0,999 9982
Du 28 au 31 mars.....	0,999 9972
Du 7 au 18 avril.....	1,000 0000
Du 18 au 26 avril.....	1,000 0000

Pendant les deux dernières périodes, nous avons cru pouvoir considérer comme nulle la marche de la pendule Fénon, à cause de la faiblesse des variations de son état absolu, qui peuvent être aussi bien attribuées à la variation de l'équation personnelle des observateurs qu'aux irrégularités du mouvement.

*Pendule Breguet et pendule Berthoud.* — La pendule Breguet (n° 1 du Dépôt de la Guerre), établie à l'Observatoire, dans la salle du rez-de-chaussée de la tour de l'Est, synchronisait à grande distance, comme nous l'avons expliqué plus haut, par l'émission d'un courant périodique (toutes les deux secondes), la pendule Berthoud n° 2, du Dépôt de la Guerre, installée dans la salle du comparateur universel de Breteuil.

La pendule Breguet était comparée chaque jour, automatiquement sur un chronographe, entre deux et quatre heures du soir, avec la pendule Fénon de l'Observatoire. De ces comparaisons résulte la valeur, en temps sidéral, d'une seconde de la pendule Breguet n° 1 et, par conséquent, de la pendule Berthoud n° 2.

Dans le Tableau suivant, la première colonne renferme la valeur d'une seconde de la pendule Breguet en secondes de la pendule Fénon; la deuxième colonne, la réduction au temps sidéral; la troisième est la somme des deux premières et donne la valeur en temps sidéral de la seconde de la pendule Berthoud, pour les diverses périodes d'observation de la durée.

DATES.	1 <sup>a</sup> BERTHOUD en secondes Fénon.	RÉDUCTION au temps sidéral.	1 <sup>a</sup> BERTHOUD en temps sidéral.
16-17 mars....	<sup>s</sup> 0,999 9773	<sup>s</sup> -0,000 0014	<sup>s</sup> 0,999 9759
17-19 » ....	717	14	703
19-20 » ....	697	14	683
20-21 » ....	709	14	695
21-22 » ....	717	18	699
22-23 » ....	732	18	714
23-24 » ....	733	18	715

*Pendule Breguet réglée le 25 (pas d'observations ce jour-là).*

26-27 » ....	<sup>s</sup> 1,000 0074	<sup>s</sup> -0,000 0018	<sup>s</sup> 1,000 0056
27-28 » ....	025	18	007
28-29 » ....	056	28	028
29-30 » ....	085	28	057

*Pendule remontée et réglée.*

8- 9 avril...	Pendant tout cet intervalle, la	<sup>s</sup> 0,999 9983
9-10 » ...	marche de la pendule Fénon	999
10-11 » ...	est considérée comme nulle.	992
11-13 » ...		1,000 0037
13-14 » ...		081
14-15 » ...		081
15-16 » ...		096
16-17 » ...		091
17-19 » ...		088
19-20 » ...		125
20-21 » ...		119
21-22 » ...		123
22-23 » ...		139
23-24 » ...		169
24-25 » ...		157
25-26 » ...		139
26-27 » ...		118
27-28 » ...		124
28-29 » ...		137
29-30 » ...		142

Pendant le cours des observations, la pendule Berthoud n° 2, synchronisée à distance et dont la durée de la seconde est donnée par la troisième colonne du précédent Tableau, a fourni l'unité de temps. La pendule libre d'expérience lui a été comparée par l'intermédiaire de l'horloge des coïncidences. La réduction au temps sidéral de l'horloge des coïncidences est donnée ci-après :

Dates.	Réduction au temps sidéral de l'oscillation de l'horloge des coïncidences.
17 mars.....	— <sup>s</sup> 0,000 0243
18-19 » .....	299
20 » .....	320
21 » .....	308
22 » .....	304
23 » .....	288
27 » .....	+0,000 0040
28 » .....	005
29 » .....	021
30 » .....	041
9 avril.....	—0,000 0012
10 » .....	001
11 » .....	006
12 » .....	+0,000 0026
13 » .....	026
14 » .....	058
15 » .....	058
16 » .....	068
17 » .....	066
18 » .....	063
19 » .....	088
20 » .....	125
21 » .....	119
22 » .....	123
23 » .....	139

Dates.	Réduction au temps sidéral de l'oscillation de l'horloge des coïncidences.
24 avril .....	+0,000 0169 <sup>s</sup>
25 » .....	157
26 » .....	139
27 » .....	118
28 » .....	124
29 » .....	137

La comparaison des durées d'oscillation des pendules long et court avec celles de l'horloge des coïncidences a été effectuée par l'observation de coïncidences régulièrement espacées sur toute la durée des séries.

On a résumé l'ensemble des résultats dans les Tableaux qui suivent :

## OBSERVATIONS DE LA DURÉE DANS L'AIR.

DATES.	Nos des séries.	HORLOGE des coïncidences.	RÉDUCTION au temps sidéral.	HORLOGE des coïncidences en temps sidéral.	RÉDUCTION à l'horloge des coïncidences.	DURÉE OBSERVÉE	
						PI. B.	PI. II.
<i>Pendule long.</i>							
17 mars . . . . .	1	<sup>s</sup> 1,008 3891	<sup>s</sup> -0,000 0243	<sup>s</sup> 1,008 3648	<sup>s</sup> -0,001 7919	<sup>s</sup> 1,006 5729	
» . . . . .	2	3897	0243	3654	1 7924	5730	
» . . . . .	3	3880	0243	3637	2 0421		<sup>s</sup> 1,006 3216
18 » . . . . .	4	3854	0299	3555	2 0427		3128
19 » . . . . .	5	3852	0299	3553	1 7870	5683	
» . . . . .	6	3861	0299	3562	1 7868	5694	
» . . . . .	7	3883	0299	3584	2 0345		3239
20 » . . . . .	8	3817	0320	3497	2 0382		3115
» . . . . .	9	3817	0320	3497	1 7749	5748	
21 » . . . . .	10	3805	0308	3497	2 0398		3099
» . . . . .	11	3810	0308	3502	2 0417		3085
» . . . . .	12	3790	0308	3482	1 7777	5705	
22 » . . . . .	13	3747	0304	3443	2 0407		3036
» . . . . .	14	3747	0304	3443	1 7764	5679	
23 » . . . . .	15	3773	0288	3485	1 7846	5639	
» . . . . .	16	3734	0288	3446	2 0417		3029

## OBSERVATIONS DE LA DURÉE DANS L'AIR.

DATES.	N <sup>os</sup> des séries.	HORLOGE des coïncidences.	RÉDUCTION au temps sidéral.	HORLOGE des coïncidences en temps sidéral	RÉDUCTION à l'horloge des coïncidences.	DURÉE OBSERVÉE	
						PLB.	PLH.
<i>Pendule court.</i>							
27 mars . . . . .	1	<sup>s</sup> 0,712 5536	+ <sup>s</sup> 0,000 0040	<sup>s</sup> 0,712 5576	- <sup>s</sup> 0,001 0796	<sup>s</sup> 0,711 4780	
» . . . . .	2	5596	0040	5636	1 0827	4809	
» . . . . .	3	5566	0040	5606	1 2420		<sup>s</sup> 0,711 3186
» . . . . .	4	5598	0040	5638	1 2458		3180
28 » . . . . .	5	5592	00: 5	5597	1 0805	4792	
» . . . . .	6	5536	0005	5541	1 0777	4764	
» . . . . .	7	5545	0005	5550	1 2520		3030
» . . . . .	8	5656	0005	5661	1 2607		3054
29 » . . . . .	9	5677	0021	5698	1 0895	4803	
» . . . . .	10	5706	0021	5727	1 0958	4769	
» . . . . .	11	5760	0021	5781	1 2743		3038
» . . . . .	12	5779	0021	5800	1 2771		3029
30 » . . . . .	13	5648	0041	5689	1 0907	4782	
» . . . . .	14	5708	0041	5749	1 0959	4790	
» . . . . .	15	5688	0041	5729	1 2657		3072
» . . . . .	16	5743	0041	5784	1 2675		3109

## OBSERVATIONS DE LA DURÉE DANS LE VIDE PARTIEL.

DATES.	Nos des séries.	HORLOGE des coïncidences.	RÉDUCTION au temps sidéral.	HORLOGE des coïncidences en temps sidéral	RÉDUCTION à l'horloge des coïncidences.	DURÉE OBSERVÉE	
						PLB.	PLH.
<i>Pendule long.</i>							
19 avril ..	1	<sup>s</sup> 1,006 7193	<sup>s</sup> +0,000 0088	<sup>s</sup> 1,006 7282	<sup>s</sup> -0,000 3893	<sup>s</sup> 1,006 3389	
20 » ...	2	6 7214	0125	6 7339	0 3934	3405	
21 » ...	3	6 7287	0119	6 7406	0 7913		<sup>s</sup> 1,005 9493
23 » ...	4	7 3022	0139	7 3161	1 3483		9678
24 » ...	5	7 3248	0169	7 3417	1 3911		9506
25-26 » ...	6	7 3290	0139	7 3429	0 9911	3518	
26-27 » ...	7	7 3279	0118	7 3397	1 3817		9580
28-29 » ...	8	7 3250	0130	7 3380	1 0002	3378	
<i>Pendule court.</i>							
9 avril .....	1	<sup>s</sup> 0,711 9295	<sup>s</sup> +0,000 0002	<sup>s</sup> 0,711 9297	<sup>s</sup> -0,000 6002	<sup>s</sup> 0,711 3295	
10 » .....	2	9295	0002	9297	5989	3308	
11 » .....	3	9295	0002	9297	8503		<sup>s</sup> 0,711 0794
12 » .....	4	9295	0002	9297	8454		0843
13 » .....	5	9212	0047	9259	5927	3332	
14 » .....	6	9212	0047	9259	5938	3321	
15 » .....	7	9212	0047	9259	8413		0846
16 » .....	8	9082	0068	9150	8296		0854

*Correction de la durée d'oscillation observée.*

Les durées d'oscillation observées dans les Tableaux précédents doivent :

- 1° Être ramenées à la température moyenne des observations;
- 2° Être ramenées à une pression constante;
- 3° Être réduites à l'arc infiniment petit.

*Réduction à la température moyenne.* — Le coefficient de dilatation qui convient au laiton des pendules de Brunner, entre 0° et 20°, est

0<sup>m</sup>,000 018 5 par mètre et par degré centigrade;

ce qui donne, pour le pendule long,

$dT_1 = 0,00000925$  par oscillation et par degré centigrade;

et, pour le pendule court,

$dT_2 = 0,00000654$  par oscillation et par degré centigrade.

C'est avec ces nombres qu'ont été calculées les corrections de température contenues dans les Tableaux.

*Réduction au vide.* — Théoriquement, la réversion élimine l'effet de l'air, mais sous deux conditions : la première, que la pression soit la même pendant la mesure de la durée d'oscillation autour des deux couteaux; la seconde, que le pendule soit rigoureusement symétrique, c'est-à-dire que l'action mécanique totale de l'air soit la même dans les deux cas.

Pendant une période aussi étendue que celle des observations de Breteuil, pendant près de deux longs mois, les variations de la pression atmosphérique sont assez considérables pour ne pouvoir pas être négligées. Ayant à déterminer dès lors la loi de la variation de la durée d'oscillation pour quelques centimètres de mercure, il nous a paru plus scientifique de l'étudier entièrement, entre le vide à 1<sup>mm</sup> et la pression de 760<sup>mm</sup>, et, au lieu de réduire les observations de la durée à une pression moyenne, de les ramener au vide parfait.

Sans entrer dans le détail de ces recherches, dont le principe a été développé dans les *Comptes rendus de l'Association géodésique internationale* (Congrès de Paris), nous donnerons simplement les

formules de correction qui permettent de réduire au vide les durées observées pour chacun des deux pendules :

$$\begin{array}{l}
 \text{Pendule} \\
 \text{long.} \\
 \left\{ \begin{array}{l}
 \text{PLB} \quad dT_1 = \left[ 2^s,86 \frac{H \left( 1 - \frac{3}{8} \frac{f}{760} \right)}{1 + 0,00367t} + 25^s,7 \sqrt{H \left( 1 - \frac{3}{8} \frac{f}{760} \right)} \right] 10^{-7}, \\
 \text{PLH} \quad dT'_1 = \left[ 4^s,35 \frac{H \left( 1 - \frac{3}{8} \frac{f}{760} \right)}{1 + 0,00367t} + 38^s,9 \sqrt{H \left( 1 - \frac{3}{8} \frac{f}{760} \right)} \right] 10^{-7};
 \end{array} \right. \\
 \\
 \text{Pendule} \\
 \text{court.} \\
 \left\{ \begin{array}{l}
 \text{PLB} \quad dT_2 = \left[ 1^s,75 \frac{H \left( 1 - \frac{3}{8} \frac{f}{760} \right)}{1 + 0,00367t} + 16^s,1 \sqrt{H \left( 1 - \frac{3}{8} \frac{f}{760} \right)} \right] 10^{-7}; \\
 \text{PLH} \quad dT'_2 = \left[ 2^s,67 \frac{H \left( 1 - \frac{3}{8} \frac{f}{760} \right)}{1 + 0,00367t} + 24^s,6 \sqrt{H \left( 1 - \frac{3}{8} \frac{f}{760} \right)} \right] 10^{-7}.
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

*Réduction à l'arc infiniment petit.*

En appelant  $\rho_\alpha$  le rayon de courbure moyen correspondant à une amplitude  $\alpha$

$$\rho_\alpha = \int_{-\alpha}^{+\alpha} \frac{\rho \, dx}{2\alpha}.$$

Soient :

$f$  le coefficient de frottement;

$b$  et  $c$  deux coefficients qui dépendent de la forme des pendules et de la densité du fluide environnant;

$H$  la pression.

L'expression du décroissement de l'amplitude en fonction du temps est (voir *Comptes rendus de l'Association géodésique internationale*, Conférence de Fribourg, Annexe) :

$$- \frac{d\alpha}{dt} = \frac{1}{h} (f\rho_\alpha + b\sqrt{H}\alpha + cH\alpha^2).$$

Le premier terme représente l'action du frottement au couteau; le deuxième et le troisième terme, l'effet de la résistance de l'air, considérée successivement comme proportionnelle à la première et à la seconde puissance de la vitesse.

L'ensemble des observations de l'amplitude en diverses stations, exécutées depuis 1888 par le Service géographique, satisfait très étroitement à cette formule. On a, en nombres :

Pendule long....	$b = 0,0002189$	$c = 0,000000224$
Pendule court....	$b = 0,0000417$	$c = 0,000000156$

Les unités correspondantes sont : la minute d'arc, la minute de temps, le mètre pour les longueurs, et le millimètre de mercure pour la pression.

Cette loi du décroissement de l'amplitude diffère assez notablement de la loi exponentielle simple généralement admise. Nous avons donné (*loco citato*) les intégrales de l'équation différentielle simplifiée qui conviennent soit au cas des observations près du vide, soit au cas des observations dans l'air, et nous en avons déduit les formules de réduction à l'arc infiniment petit correspondantes.

On a, en posant

$$r = b\sqrt{H}, \quad s = cH :$$

DANS LE VIDE :

$$\frac{1}{T} \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} \alpha^2 dt = \frac{h}{2rT} (\alpha_0 - \alpha_1) \left( \alpha_0 + \alpha_1 - \frac{2f\rho\alpha}{r} \right) + \left( \frac{f\rho\alpha}{r} \right)^2 ;$$

DANS L'AIR :

$$\frac{1}{T} \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} \alpha^2 dt = \frac{r}{s} \frac{\alpha_0 - \alpha_1}{\log\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{r}\right) - \log\left(\frac{1}{\alpha_0} + \frac{s}{r}\right)} - \frac{r^2}{s^2}.$$

Dans le second cas, on suppose les observations de l'amplitude initiale et finale préalablement corrigées de l'effet du frottement au couteau. Cette correction, dans les limites d'amplitude dans lesquelles nous nous sommes renfermés, est entièrement négligeable pour les observations exécutées dans l'air.

Les Tableaux qui suivent présentent l'ensemble des données et des éléments de la réduction des durées observées et les résultats, moyens des observations ainsi réduites.

LIMITES d'amplitude.	θ.	H.	CORRECTIONS.				DATES.	N <sup>os</sup> des séries
			Amplitude.	θ.	H.	Σ.		
<i>Pendule long.</i>								
45 — 8'	<sup>o</sup> +5,3	<sup>mm</sup> 747	—30	—56	—2794	—2880	17 mars.....	1
45 8	5,3	748	—30	—56	—2800	—2886	» .....	2
45 8	5,3	749	—30	—56	—4231	—4317	» .....	3
45 8	5,1	754	—30	—28	—4262	—4330	18 » .....	4
45 8	5,0	753	—30	—29	—2816	—2875	19 » .....	5
45 8	5,0	752	—30	—29	—2813	—2872	» .....	6
45 8	5,0	752	—30	—29	—4256	—4315	» .....	7
45 8	4,5	755	—30	+16	—4276	—4290	20 » .....	8
45 8	4,5	756	—30	+16	—2829	—2843	» .....	9
45 8	4,4	759	—30	+25	—4296	—4301	21 » .....	10
45 8	4,4	759	—30	+25	—4296	—4301	» .....	11
45 8	4,4	759	—30	+25	—2839	—2844	» .....	12
45 8	4,2	759	—30	+43	—4206	—4193	22 » .....	13
45 8	4,2	760	—30	+43	—2839	—2826	» .....	14
45 8	4,1	747	—30	+52	—2802	—2780	23 » .....	15
45 8	4,1	744	—30	+52	—4225	—4203	» .....	16
	$\theta_m = +4,68$							
<i>Pendule court.</i>								
45 — 8'	<sup>o</sup> +5,2	<sup>mm</sup> 736	—21	+ 3	—1696	—1714	27 mars.....	1
45 8	5,2	736	—21	+ 3	—1696	—1714	» .....	2
45 8	5,2	736	—21	+ 3	—2581	—2599	» .....	3
45 8	5,2	736	—21	+ 3	—2581	—2599	» .....	4
45 8	5,2	731	—21	+ 3	—1687	—1705	28 » .....	5
45 8	5,2	731	—21	+ 3	—1686	—1704	» .....	6
45 8	5,2	731	—21	+ 3	—2566	—2584	» .....	7
45 8	5,2	731	—21	+ 3	—2566	—2584	» .....	8
45 8	5,4	732	—21	— 3	—1687	—1711	29 » .....	9
45 8	5,4	732	—21	— 3	—1686	—1710	» .....	10
45 8	5,4	732	—21	— 3	—2570	—2594	» .....	11
45 8	5,4	732	—21	— 3	—2570	—2594	» .....	12
45 8	5,4	743	—21	— 3	—1709	—1733	30 » .....	13
45 8	5,4	743	—21	— 3	—1709	—1733	» .....	14
45 8	5,4	743	—21	— 3	—2602	—2626	» .....	15
45 8	5,4	743	—21	— 3	—2602	—2626	» .....	16
	$\theta_m = +5,30$							

FAIR.

NOMBRE d'oscillations.	COMBINAISON des couteaux.	DURÉE observée.	Σ des corrections.	DURÉE RÉDUITE	
				PLB.	PLH.
<i>Pendule long.</i>					
10148		<sup>s</sup> 1,006 5729	— 2880	<sup>s</sup> 1,006 2849	
10145	B A <sub>3</sub>	5730	— 2886	2844	
6927	A B <sub>2</sub>	3216	— 4317		<sup>s</sup> 1,005 8899
5936		3128	— 4330		8798
10175		5683	— 2875	2808	
10176	B A <sub>3</sub>	5694	— 2872	2822	
5960	A B <sub>2</sub>	3239	— 4315		8924
5949		3115	— 4290		8825
10245		5748	— 2843	2905	
5944	A A <sub>3</sub>	3099	— 4301		8798
5939	B B	3085	— 4301		8784
11365		5705	— 2844	2861	
5942		3036	— 4193		8843
10236	A A <sub>3</sub>	5679	— 2826	2853	
10189	B B <sub>2</sub>	5639	— 2780	2859	
5939		3029	— 4203		8826
				1,006 2850	1,005 8837
$\Delta = 0^s,000\ 4013$					
<i>Pendule court.</i>					
11889		<sup>s</sup> 0,711 4780	— 1714	<sup>s</sup> 0,711 3066	
11855	B A <sub>3</sub>	4809	— 1714	3095	
6891	A B <sub>2</sub>	3186	— 2599		<sup>s</sup> 0,711 0587
6870		3180	— 2599		0581
11879		4792	— 1705	3087	
11910	B A <sub>3</sub>	4764	— 1704	3060	
7976	A B <sub>2</sub>	3030	— 2584		0446
6789		3054	— 2584		0470
11781		4803	— 1711	3092	
13015	A A <sub>3</sub>	4769	— 1710	3059	
6717	B B <sub>2</sub>	3038	— 2594		0444
6702		3029	— 2594		0435
11768		4782	— 1733	3049	
11712	A A <sub>3</sub>	4790	— 1733	3057	
9017	B B <sub>2</sub>	3072	— 2626		0446
6753		3109	— 2626		0483
				0,711 3071	0,711 0486
$\Delta = 0^s,000\ 2585$					

LIMITES d'amplitude.	$\theta$ .	H.	CORRECTIONS.				DATES.	N <sup>os</sup> des séries.
			Amplitude.	$\theta$ .	H.	$\Sigma$ .		
<i>Pendule long.</i>								
56' —2'	+ 8,1 <sup>o</sup>	23 <sup>mm</sup>	—30	+69	—190	—151	19 avril ...	1
70 4	8,5	20	—54	+32	—173	—195	20 » ...	2
56 1	8,5	21	—30	+32	—271	—269	21 » ...	3
56 2	8,7	44	—30	+14	—452	—468	23 » ...	4
56 1	9,0	20	—30	—14	—262	—306	24 » ...	5
79 5	9,3	18	—69	—41	—161	—271	25-26 » ...	6
63 2	9,2	29	—39	—32	—337	—408	26-27 » ...	7
63 1	9,5	1,6	—39	—60	— 38	—137	28-29 » ...	8
	$\theta_m = +8,85$							
<i>Pendule court.</i>								
67' —2'	+5,9 <sup>o</sup>	40 <sup>mm</sup>	—32	+28	—170	—174	9 avril .....	1
67 2	5,9	51	—32	+28	—201	—205	10 » .....	2
55 2	5,9	48	—21	+28	—293	—286	11 » .....	3
64 2	5,9	51	—27	+28	—306	—305	12 » .....	4
60 4	6,2	44	—25	+ 9	—182	—198	13 » .....	5
85 2	6,5	23	—49	— 9	—116	—174	14 » .....	6
55 2	6,9	38	—21	—34	—250	—305	15 » .....	7
64 3	7,6	23	—29	—81	—177	—287	16 » .....	8
	$\theta_m = +6,35$							

IDE PARTIEL.

NOMBRE oscillations.	COMBINAISON des couteaux.	DURÉE observée.	$\Sigma$ des corrections.	DURÉE RÉDUITE	
				PLB.	PLH.
<i>Pendule long.</i>					
82787	} $\begin{matrix} \text{B } A_3 \\ \text{A } B_2 \end{matrix}$ }	<sup>s</sup> 1,006 3389	— 151	<sup>s</sup> 1,006 3238	
66547		6 3405	— 195	3210	
76391		5 9493	— 269		<sup>s</sup> 1,005 9224
44887		5 9678	— 468		9210
79762	} $\begin{matrix} \text{A } A_3 \\ \text{B } B_2 \end{matrix}$ }	5 9506	— 306		9200
71213		6 3518	— 271	3247	
52562		5 9580	— 408		9172
175400		6 3378	— 137	3241	
				<u>1,006 3234</u>	<u>1,005 9202</u>
				$\Delta = 0^s,000\ 4032$	
<i>Pendule court.</i>					
113978	} $\begin{matrix} \text{A } A_3 \\ \text{B } B_2 \end{matrix}$ }	<sup>s</sup> 0,711 3295	— 174	<sup>s</sup> 0,711 3121	
116576		3308	— 205	3103	
58690		0794	— 286		<sup>s</sup> 0,711 0568
45532		0843	— 305		0538
57705	} $\begin{matrix} \text{B } A_3 \\ \text{A } B_2 \end{matrix}$ }	3332	— 198	3134	
112799		3321	— 174	3147	
54233		0846	— 305		0541
61861		0854	— 287		0567
				<u>0,711 3126</u>	<u>0,711 0539</u>
				$\Delta = 0^s,000\ 2587$	

2° MESURE DE LA LONGUEUR.

La mesure de la distance entre les arêtes des couteaux des deux pendules a été effectuée par MM. R. Benoit et Defforges, à l'aide du comparateur universel du Bureau international des Poids et Mesures, construit par Starke et Kammerer, et dont la description sera ultérieurement publiée dans les *Travaux et Mémoires* dudit Bureau.

Les deux pendules ont été comparés à deux étalons du Bureau international, connus sous les désignations de *Règle type IV* et *Règle N*. Le premier est en platine iridié, le second est en bronze.

Pour la comparaison, le pendule était placé dans le comparateur entre les deux étalons. Quatre thermomètres du Bureau international, portant les numéros 4254, 4253, 4256, 4257, disposés symétriquement de chaque côté du pendule, entre le pendule et les étalons de longueur, donnaient la température. La distance entre les arêtes des couteaux était prise suivant deux droites parallèles à l'axe de figure, et également distantes de cet axe de chaque côté du pendule. Les arêtes étaient éclairées, parallèlement à l'axe des microscopes du comparateur, de manière à se détacher en noir sur fond blanc. Le pointé de l'arête s'effectuait en plaçant sa ligne terminale à égale distance des deux fils du réticule. Les deux observateurs opéraient simultanément, l'un à l'un des microscopes, l'autre à l'autre. Ils s'échangeaient ensuite et répétaient l'observation à un signal convenu, de telle façon que chaque mesure était ainsi faite en double par M. R. Benoit et par M. Defforges dans les mêmes conditions et dans le même intervalle de temps. L'ordre des pointés et des lectures était ainsi réglé :

- Lecture des thermomètres;
- Pointés sur le pendule;
- Pointés sur les règles de comparaison;
- Pointés sur le pendule;
- Lecture des thermomètres.

Une série complète d'observations a été faite dans ces conditions sur chaque pendule dans quatre combinaisons de couteaux. Le pendule long a été comparé à l'intervalle 0-1000 de chaque étalon. Le pendule court a été comparé à l'intervalle 0-500 de la règle type IV et à l'intervalle 500-1000 de la règle N.

Les Tableaux suivants renferment le résumé des résultats de ces comparaisons tels qu'ils nous ont été communiqués par M. R. Benoit.

PENDULE LONG DE BRUNNER. — Comparaison avec la Règle type IV.

Coefficients de la Règle IV :  $\alpha = 0,000008573$ ,  $\beta = 0,0000000231$ .

Longueur initiale de la Règle IV :  $1^m - 26^u, 79$ .

SÉRIES.	POSITIONS.	TEMPÉRATURES.	VALEURS correspondantes de la Règle IV.	P — IV.		LONGUEUR DU PENDULE.	
				M. Benoit.	M. Defforges.	Observations de M. Benoit.	Observations de M. Defforges.
I.....	$\begin{matrix} A & A_3 \\ B & B_2 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$	+ 12,059	$\begin{matrix} m \\ 1 \end{matrix} + \begin{matrix} \mu \\ 76,93 \end{matrix}$	+ 2555,88	+ 2557,26	$\begin{matrix} m \\ 1 \end{matrix} + \begin{matrix} \mu \\ 2632,81 \end{matrix}$	$\begin{matrix} m \\ 1 \end{matrix} + \begin{matrix} \mu \\ 2634,19 \end{matrix}$
II.....	$\begin{matrix} A & A_3 \\ B & B_2 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \\ \end{matrix} \right)$	12,209	78,22	2565,16	2565,86	2643,38	2644,08
III.....	$\begin{matrix} A & A_3 \\ B & B_2 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \\ \end{matrix} \right)$	12,139	77,62	2548,97	2548,81	2626,59	2626,43
IV.....	$\begin{matrix} A & A_3 \\ B & B_2 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$	12,260	78,66	2577,00	2577,64	2655,66	2656,30
V.....	$\begin{matrix} A & B_2 \\ B & A_3 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$	12,202	78,16	2577,32	2577,23	2655,48	2655,39
VI.....	$\begin{matrix} A & B_2 \\ B & A_3 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \\ \end{matrix} \right)$	12,276	78,80	2545,62	2545,89	2624,42	2624,69
VII.....	$\begin{matrix} A & B_2 \\ B & A_3 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \\ \end{matrix} \right)$	12,369	79,61	2562,78	2565,55	2642,39	2645,16
VIII....	$\begin{matrix} A & B_2 \\ B & A_3 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$	12,476	80,53	2562,55	2562,21	2643,08	2642,74
		$10_m = + 12,249$				$1 + 2640,48$	$1 + 2641,12$
						$1^m + 2640^u, 80$	

Les indications (·), ( ) servent à différencier les mesures prises de chaque côté de l'axe de symétrie des pendules ; la longueur résulte de la moyenne de deux observations dans chaque combinaison de couteaux.

PENDULE LONG DE BRUNNER. — Comparaisons avec la Règle N.

Coefficients de la Règle N :  $\alpha = 0,000\ 017\ 483$ ,  $\beta = 0,000\ 000\ 007\ 07$ .

Longueur initiale de la Règle N :  $1^m + 48^r, 58$ .

SÉRIES.	POSITION.	TEMPÉRATURES.	VALEURS correspondantes de la Règle N.	P — N.		LONGUEUR DU PENDULE.	
				M. Benoit.	M. Defforges.	Observations de M. Benoit.	Observations de M. Defforges.
I... ..	$\begin{matrix} \overset{\circ}{A} & A_2 \\ \underset{\circ}{B} & B_2 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$	+ 12,059	$1 + \overset{\mu}{260,43}$	+ $2374,61^{\mu}$	+ $2376,26^{\mu}$	$1 + \overset{m}{2635,04}^{\mu}$	$1 + \overset{m}{2636,69}^{\mu}$
II:.....	$\begin{matrix} \overset{\circ}{A} & A_2 \\ \underset{\circ}{B} & B_2 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$	12,209	263,08	2383,00	2382,21	2646,08	2645,29
III.....	$\begin{matrix} \overset{\circ}{A} & A_2 \\ \underset{\circ}{B} & B_2 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$	12,139	261,85	2365,36	2364,88	2627,21	2626,73
IV.....	$\begin{matrix} \overset{\circ}{A} & A_2 \\ \underset{\circ}{B} & B_2 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$	12,260	263,99	2395,15	2394,79	2659,14	2658,78
V.....	$\begin{matrix} \overset{\circ}{A} & B_2 \\ \underset{\circ}{B} & A_2 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$	12,202	262,96	2392,75	2392,00	2655,71	2654,96
VI.....	$\begin{matrix} \overset{\circ}{A} & B_2 \\ \underset{\circ}{B} & A_2 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$	12,276	264,27	2362,90	2363,34	2627,17	2627,61
VII.....	$\begin{matrix} \overset{\circ}{A} & B_2 \\ \underset{\circ}{B} & A_2 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$	12,369	265,90	2378,65	2380,15	2644,55	2646,05
VIII.....	$\begin{matrix} \overset{\circ}{A} & B_2 \\ \underset{\circ}{B} & A_2 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$	12,476	267,80	2376,53	2375,54	2644,33	2643,34
		$\theta_m = +12,249$				$1 + 2642,40$	$1 + 2642,43$
						$1^m + 2642^r, 42$	

PENDULE LONG DE BRUNNER. — Résultats généraux.

SÉRIES.	POSITION.	TEMPÉRA- TURES.	LONGUEUR DU PENDULE PAR COMPARAISON						MOYENNE générale.
			AVEC LA RÈGLE TYPE IV.			AVEC LA RÈGLE N.			
			M. Benoit.	M. Defforges.	Moyenne.	M. Benoit.	M. Defforges.	Moyenne.	
I.....	$\begin{matrix} A & A_3 \\ B & B_2 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$	+12,059	$\begin{matrix} m & \mu \\ 1 & + \end{matrix} 2632,8$	$\begin{matrix} m & \mu \\ 1 & + \end{matrix} 2634,2$	$\begin{matrix} m & \mu \\ 1 & + \end{matrix} 2633,5$	$\begin{matrix} m & \mu \\ 1 & + \end{matrix} 2635,0$	$\begin{matrix} m & \mu \\ 1 & + \end{matrix} 2636,7$	$\begin{matrix} m & \mu \\ 1 & + \end{matrix} 2635,8$	$\begin{matrix} m & \mu \\ 1 & + \end{matrix} 2634,6$
II.....	$\begin{matrix} A & A_3 \\ B & B_2 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$	12,209	2643,4	2644,1	2643,7	2646,1	2645,3	2645,7	2644,7
III.....	$\begin{matrix} A & A_3 \\ B & B_2 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$	12,139	2626,6	2626,4	2626,5	2627,2	2626,7	2626,9	2626,7
IV.....	$\begin{matrix} A & A_3 \\ B & B_2 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$	12,260	2655,7	2656,3	2656,0	2659,1	2658,8	2658,9	2657,4
V.....	$\begin{matrix} A & B_2 \\ B & A_3 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$	12,202	2655,5	2655,4	2655,4	2655,7	2655,0	2655,3	2655,4
VI.....	$\begin{matrix} A & B_2 \\ B & A_3 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$	12,276	2624,4	2624,7	2624,5	2627,2	2627,6	2627,4	2625,9
VII.....	$\begin{matrix} A & B_2 \\ B & A_3 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$	12,369	2642,4	2645,2	2643,8	2644,5	2646,0	2645,2	2644,5
VIII.....	$\begin{matrix} A & B_2 \\ B & A_3 \end{matrix} \left( \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$	12,476	2643,1	2642,7	2642,9	2644,3	2643,3	2643,8	2643,3

En réduisant tous les résultats à la température moyenne de  $+12^{\circ},249$ , en admettant le coefficient  $10^{-6} \times 18,5$  pour le pendule long, on a :

SÉRIES	POSITION.	ÉCART de température.	CORREC- TION.	LONGUEUR corrigée.	LONGUEUR du pendule.
I.....	B B <sub>2</sub>	+0,190	+3,5	<sup>m</sup> 2638,1	<sup>m</sup> 2641,7
II....	A A <sub>3</sub>	+0,040	+0,7	2645,4	
III..	B B <sub>2</sub>	+0,110	+2,0	2628,7	2643,0
IV....	A A <sub>3</sub>	-0,011	-0,2	2657,2	
V. ....	B A <sub>3</sub>	+0,047	+0,9	2656,3	2640,9
VI....	A B <sub>2</sub>	-0,027	-0,5	2625,4	
VII...	B A <sub>3</sub>	-0,120	-3,2	2642,3	2640,7
VIII..	A B <sub>2</sub>	-0,227	-4,2	2639,1	
					<u>1 + 2641,6</u>

Donc la longueur du pendule long est, à  $+12^{\circ},249$ ,

$$1^m + 2641^{\mu},6 = 1^m,0026416.$$

PENDULE COURT DE BRUNNER. — Comparaisons avec la Règle type IV (Int. 0,500).

Coefficients de la Règle type IV :  $\alpha = 0,000008573$ ,  $\beta = 0,0000000231$ .

Longueur initiale de la Règle type IV :  $0^m,50 - 19^{\mu},22$ .

SÉRIES.	POSITION.	TEMPÉRATURES.	VALEURS correspondantes de la Règle IV.	P — IV.		LONGUEUR DU PENDULE.	
				M. Benoit.	M. Defforges.	Observations de M. Benoit.	Observations de M. Defforges.
I.....	$\begin{matrix} B A_3 \\ A B_2 \end{matrix} \left( \cdot \right)$	+ 4,819	$0,50 + 1,46$	+ 778,91	+ 778,62	$0,50 + 780,37$	$0,50 + 780,08$
II.....	$\begin{matrix} B A_3 \\ A B_2 \end{matrix} \left( \cdot \right)$	5,141	2,83	785,95	785,60	788,80	788,45
III.....	$\begin{matrix} B B_2 \\ A A_3 \end{matrix} \left( \cdot \right)$	5,711	5,29	790,86	791,19	796,15	796,48
IV.....	$\begin{matrix} B B_2 \\ A A_3 \end{matrix} \left( \cdot \right)$	5,824	5,78	784,46	784,52	790,24	790,30
V.....	$\begin{matrix} B B_2 \\ A A_3 \end{matrix} \left( \cdot \right)$	6,067	6,83	801,31	802,38	808,14	809,21
VI.....	$\begin{matrix} B B_2 \\ A A_3 \end{matrix} \left( \cdot \right)$	6,124	7,07	775,68	775,88	782,75	782,95
VII.....	$\begin{matrix} B A_3 \\ A B_2 \end{matrix} \left( \cdot \right)$	6,139	7,14	776,71	776,17	783,85	783,31
VIII.....	$\begin{matrix} B A_3 \\ A B_2 \end{matrix} \left( \cdot \right)$	6,099	6,96	801,36	801,09	808,32	808,05
		$\theta_m = +5,710$				$0,50 + 792,33$	$0,50 + 792,35$
						$0^m,50 + 792^{\mu},34$	

PENDULE COURT DE BRUNNER. — Comparaisons avec la Règle N (Int. 500, 1000).

Coefficients de la Règle N :  $\alpha = 0,000\ 017\ 483$ ,  $\beta = 0,000\ 000\ 007\ 07$ .

Longueur initiale de la Règle N :  $0^m, 50 + 19^{\mu}, 63$ .

SÉRIES.	POSITION.	TEMPÉRATURES.	VALEURS correspondantes de la Règle N.	P — N.		LONGUEUR DU PENDULE.	
				M. Benoit.	M. Defforges.	Observations de M. Benoit.	Observations de M. Defforges.
IX.....	$\left. \begin{matrix} B A_3 \\ A B_2 \end{matrix} \right\} \left( \cdot \right)$	+ 6,288	$0,50 + 74^{\mu}, 74$	+ 722,50	+ 722,02	$0,50 + 797^{\mu}, 24$	$0,50 + 796^{\mu}, 76$
X.....	$\left. \begin{matrix} B A_3 \\ A B_2 \end{matrix} \right\} \left( \cdot \right)$	6,366	75,42	728,65	728,12	804,07	803,54
XI.....	$\left. \begin{matrix} B B_2 \\ A A_3 \end{matrix} \right\} \left( \cdot \right)$	6,422	75,91	729,98	729,89	805,89	805,80
XII.....	$\left. \begin{matrix} B B_2 \\ A A_3 \end{matrix} \right\} \left( \cdot \right)$	6,450	76,16	722,42	722,14	798,58	798,30
V.....	$\left. \begin{matrix} B B_2 \\ A A_3 \end{matrix} \right\} \left( \cdot \right)$	6,067	72,80	734,71	735,30	807,51	808,10
VI.....	$\left. \begin{matrix} B B_2 \\ A A_3 \end{matrix} \right\} \left( \cdot \right)$	6,124	73,30	709,68	709,28	782,98	782,58
VII.....	$\left. \begin{matrix} B A_3 \\ A B_2 \end{matrix} \right\} \left( \cdot \right)$	6,139	73,43	710,20	708,74	783,63	782,17
VIII.....	$\left. \begin{matrix} B A_3 \\ A B_2 \end{matrix} \right\} \left( \cdot \right)$	6,099	73,08	736,88	735,89	809,96	808,97
		$\theta_m = +6,244$				$0,50 + 798^{\mu}, 73$	$0,50 + 798^{\mu}, 28$
						$0^m, 50 + 798^{\mu}, 50$	

PENDULE COURT DE BRUNNER.

Réduction des résultats des Séries I, II, III, IV aux mêmes températures que celles des Séries IX, X, XI, XII.

*Comparaisons avec la Règle type IV.*

Dilatation admise pour le pendule : 0,000018<sup>μ</sup>,5, soit 9<sup>μ</sup>,25 pour 0<sup>m</sup>,50 et par degré.

TEMPÉRATURES.	DIFFÉRENC.	CORRECTIONS.	LONGUEUR DE P			
			à réduire.		réduite.	
			M. Benoit	M. Defforges.	M. Benoit.	M. Defforges.
De 4,819 à 6,288	+1,469	+13,59 <sup>μ</sup>	0,50 + 780,37 <sup>μ</sup>	0,50 + 780,08 <sup>μ</sup>	0,50 + 793,96 <sup>μ</sup>	0,50 + 793,67 <sup>μ</sup>
De 5,141 à 6,366	+1,215	+11,33	788,80	788,45	800,13	799,78
De 5,711 à 6,422	+0,711	+ 6,58	796,15	796,48	802,73	803,06
De 5,824 à 6,450	+0,626	+ 5,79	790,24	790,30	796,03	796,09

PENDULE COURT DE BRUNNER. — Résultats généraux.

SÉRIES.	POSITION.	TEMPÉRA- TURE.	LONGUEUR DU PENDULE PAR COMPARAISON						MOYENNE générale.
			AVEC LA RÈGLE TYPE IV.			AVEC LA RÈGLE N.			
			M. Benoît.	M. Defforges.	Moyenne.	M. Benoît.	M. Defforges.	Moyenne.	
I-IX.....	$\left. \begin{matrix} B A_3 \\ A B_2 \end{matrix} \right\} (\cdot)$	+ 6,288	$\begin{matrix} m \\ 0,50 \end{matrix} \begin{matrix} \mu \\ +794,0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} m \\ 0,50 \end{matrix} \begin{matrix} \mu \\ +793,7 \end{matrix}$	$\begin{matrix} m \\ 0,50 \end{matrix} \begin{matrix} \mu \\ +793,8 \end{matrix}$	$\begin{matrix} m \\ 0,50 \end{matrix} \begin{matrix} \mu \\ +797,2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} m \\ 0,50 \end{matrix} \begin{matrix} \mu \\ +796,8 \end{matrix}$	$\begin{matrix} m \\ 0,50 \end{matrix} \begin{matrix} \mu \\ +797,0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} m \\ 0,50 \end{matrix} \begin{matrix} \mu \\ +795,4 \end{matrix}$
II-X.....	$\left. \begin{matrix} B A_3 \\ A B_2 \end{matrix} \right\} (\cdot)$	6,366	800,1	799,8	799,9	804,1	803,5	803,8	801,8
III-XI.....	$\left. \begin{matrix} B B_2 \\ A A_3 \end{matrix} \right\} (\cdot)$	6,422	802,7	803,1	802,9	805,9	805,8	805,8	804,3
IV-XII.....	$\left. \begin{matrix} B B_2 \\ A A_3 \end{matrix} \right\} (\cdot)$	6,450	796,0	796,1	796,0	798,6	798,3	798,4	797,2
V.....	$\left. \begin{matrix} B B_2 \\ A A_3 \end{matrix} \right\} (\cdot)$	6,067	808,1	809,2	808,6	807,5	808,1	807,8	808,2
VI.....	$\left. \begin{matrix} B B_2 \\ A A_3 \end{matrix} \right\} (\cdot)$	6,124	782,7	782,9	782,8	783,0	782,6	782,8	782,8
VII.....	$\left. \begin{matrix} B A_3 \\ A B_2 \end{matrix} \right\} (\cdot)$	6,139	783,8	783,3	783,5	783,6	782,2	782,9	783,2
VIII.....	$\left. \begin{matrix} B A_3 \\ A B_2 \end{matrix} \right\} (\cdot)$	$\theta_m = +6,099$	808,3	808,0	808,1	810,0	809,0	809,5	808,8

En réduisant tous les résultats à la température moyenne de  $+6^{\circ},244$ , en admettant le coefficient  $10^{-6} \times 18,5$  pour le pendule court, on a

SÉRIES	POSITION.	ÉCART de température.	CORREC-TION.	LONGUEUR corrigée.	LONGUEUR du pendule..
I.....	B A <sub>3</sub>	0	$\mu$	$0,5 + 795,0$	$0,5 + 797,8$
II....	A B <sub>2</sub>	-0,044	-0,4	800,7	
III...	B B <sub>2</sub>	-0,178	-1,6	802,7	799,0
IV....	A A <sub>3</sub>	-0,206	-1,9	795,3	
V.....	B B <sub>2</sub>	+0,177	+1,6	809,8	796,9
VI....	A A <sub>3</sub>	+0,120	+1,1	783,9	
VII..	B A <sub>3</sub>	+0,105	+1,0	784,2	797,2
VIII..	A B <sub>2</sub>	+0,145	+1,3	810,1	
					$0,5 + 797,7$

Donc la longueur du pendule court est, à  $+6^{\circ},244$ ,

$$0^m,5 + 797^{\mu},7 = 0^m,5007977.$$

### 3° DÉTERMINATION DU CENTRE DE GRAVITÉ.

La position du centre de gravité sur la ligne qui joint les milieux des arêtes des deux couteaux a été déterminée par la méthode habituellement employée, et qui consiste à mettre le pendule en équilibre sur la génératrice supérieure d'un double cône circulaire, successivement dans deux positions symétriques par rapport à cette génératrice, et à mesurer la différence des distances des arêtes des couteaux dans ces deux positions à un point fixe arbitrairement choisi. On mesure ainsi  $h - h'$ , et, connaissant  $h + h' = \lambda$ , on en tire  $h$  et  $h'$ . Il est possible, par le même procédé, de mesurer directement  $2h$  et  $2h'$ , ce que nous avons fait pour nos pendules. Cette seconde mesure nous a donc fourni une vérification.

Nous avons ainsi obtenu :

$$\text{Pendule long... } \frac{h_1}{h'_1} = 1,513,$$

$$\text{Pendule court... } \frac{h_2}{h'_2} = 1,524.$$

### III. — Conclusions.

En résumé, l'ensemble des observations et des mesures exécutées à Breteuil a donné les résultats ci-après :

DANS L'AIR.

*Pendule long :*

$$\left. \begin{array}{l} T_{m_1} = 1^s, 006\ 285\ 0 \text{ (TS)} \\ T'_{m_1} = 1^s, 005\ 883\ 7 \text{ (TS)} \end{array} \right\} T_{m_1} - T'_{m_1} = 0^s, 000\ 401\ 3 \text{ à } +4^o, 68$$
$$\lambda_1 = 1^m, 002\ 641\ 6$$
$$\frac{h_1}{h'_1} = 1, 513, \quad \frac{h'_1}{h_1 - h'_1} = 1, 9493.$$

*Pendule court :*

$$\left. \begin{array}{l} T_{m_2} = 0^s, 711\ 307\ 1 \text{ (TS)} \\ T'_{m_2} = 0^s, 711\ 048\ 6 \text{ (TS)} \end{array} \right\} T_{m_2} - T'_{m_2} = 0^s, 000\ 258\ 5 \text{ à } +5^o, 30$$
$$\lambda_2 = 0^m, 500\ 797\ 7$$
$$\frac{h_2}{h'_2} = 1, 524, \quad \frac{h'_2}{h_2 - h'_2} = 1, 9084.$$

DANS LE VIDE.

*Pendule long :*

$$\left. \begin{array}{l} T_{m_1} = 1^s, 006\ 323\ 4 \text{ (TS)} \\ T'_{m_1} = 1^s, 005\ 920\ 2 \text{ (TS)} \end{array} \right\} T_{m_1} - T'_{m_1} = 0^s, 000\ 403\ 2 \text{ à } +8^o, 85$$
$$\lambda_1 = 1^m, 002\ 641\ 6$$
$$\frac{h_1}{h'_1} = 1, 513, \quad \frac{h'_1}{h_1 - h'_1} = 1, 9493.$$

*Pendule court :*

$$\left. \begin{aligned} T_{m_2} &= 0^s,7113126 \text{ (TS)} \\ T'_{m_2} &= 0^s,7110539 \text{ (TS)} \end{aligned} \right\} T_{m_2} - T'_{m_2} = 0^s,0002587 \text{ à } +6^{\circ},35$$

$$\lambda_2 = 0^m,5007977$$

$$\frac{h_2}{h'_2} = 1,524, \quad \frac{h'_2}{h_2 - h'_2} = 1,9084.$$

Les durées d'oscillation théoriques se calculent par les formules (2) données plus haut. Les quantités  $T_{m_1} - T'_{m_1}$ ,  $T_{m_2} - T'_{m_2}$ , qui servent à les obtenir, sont, comme la distance des arêtes, des caractéristiques de la permanence de la forme des pendules employés.

Pendant l'année 1888, les pendules de Brunner ont été employés, non seulement à Breteuil, mais à Greenwich. Il est donc intéressant de voir comment se sont comportés les pendules pendant toute cette année, en comparant entre elles les valeurs diverses obtenues pour  $T_{m_1} - T'_{m_1}$ ,  $T_{m_2} - T'_{m_2}$ . Nous avons trouvé :

	Pendule long.	Pendule court.
A Breteuil, dans l'air.....	0,0004013	0,0002585
A Breteuil, dans le vide.....	0,0004032	0,0002587
A Greenwich, dans l'air.....	0,0004055	0,0002586
Moyennes.....	0,0004033	0,0002586

Il faut attribuer à un hasard heureux l'identité absolue constatée pour les nombres qui regardent le pendule court. Quant aux nombres relatifs au pendule long, malgré une légère allure systématique qui semble suivre la température, les écarts obtenus sont si faibles que nous avons pensé pouvoir sans inconvénient adopter une moyenne pour les observations réunies de Breteuil et de Greenwich. Nous avons donc calculé  $\tau_{m_1}$  et  $\tau_{m_2}$  à l'aide des valeurs suivantes :

$$T_{m_1} - T'_{m_1} = 0^s,0004033,$$

$$T_{m_2} - T'_{m_2} = 0^s,0002586.$$

On trouve ainsi :

DANS L'AIR :

$$\tau_{m_1} = 1^s, 007\ 071\ 3 \text{ (TS) à } +4^{\circ}, 68,$$

$$\tau_{m_2} = 0^s, 711\ 800\ 6 \text{ (TS) à } +5^{\circ}, 30,$$

DANS LE VIDE :

$$\tau_{m_1} = 1^s, 007\ 109\ 6 \text{ (TS) à } +8^{\circ}, 85$$

$$\tau_{m_2} = 0^s, 711\ 806\ 1 \text{ (TS) à } +6^{\circ}, 35$$

en temps sidéral.

En temps moyen :

DANS L'AIR :

$$\tau_{m_1} = 1^s, 004\ 321\ 6 \text{ (TM) à } +4^{\circ}, 68,$$

$$\tau_{m_2} = 0^s, 709\ 857\ 1 \text{ (TM) à } +5^{\circ}, 30,$$

DANS LE VIDE :

$$\tau_{m_1} = 1^s, 004\ 359\ 8 \text{ (TM) à } +8^{\circ}, 85$$

$$\tau_{m_2} = 1^s, 709\ 862\ 6 \text{ (TM) à } +6^{\circ}, 35$$

Calcul de  $g$  :

Finalement, pour calculer

$$(3) \quad g = \omega^2 \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\tau_{m_1}^2 - \tau_{m_2}^2},$$

il faut ramener toutes les mesures de la longueur et toutes les durées observées à la même température. Un ensemble considérable d'observations, qu'il serait trop long de rapporter dans ce résumé, nous a conduit à adopter, comme on l'a vu plus haut, pour le laiton des pendules de Brunner, entre  $0^{\circ}$  et  $20^{\circ}$ , le coefficient

$$0,0000185$$

par mètre et par degré centigrade.

On en conclut :

pour le pendule long,  $dT_1 = 0^s, 00000925$  } par degré centigrade.  
pour le pendule court,  $dT_2 = 0^s, 00000654$  }

C'est avec ces valeurs que les données de l'observation ont été ramenées, avant d'être introduites dans la formule (3), à la température de  $+10^{\circ}$ .

On a ainsi successivement :

DANS L'AIR :

$$A + 10^{\circ} \dots \tau_{m_1} = 1^s, 004\ 370\ 8 \text{ (TM)},$$

$$\tau_{m_2} = 0^s, 709\ 887\ 8 \text{ (TM)};$$

DANS LE VIDE :

$$A + 10^\circ \dots \tau_{m_1} = 1^s, 004\ 370\ 5 \quad (\text{TM}),$$

$$\tau_{m_2} = 0^s, 709\ 886\ 5 \quad (\text{TM}).$$

L'accord de ces nombres entre eux ne laisse rien à désirer. Nous avons adopté la moyenne des valeurs obtenues dans l'air et dans le vide :

$$\tau_{m_1} = 1^s, 004\ 370\ 7, \quad \tau_{m_1}^2 = 1, 008\ 760\ 5$$

$$\tau_{m_2} = 0^s, 709\ 887\ 2, \quad \tau_{m_2}^2 = 0, 503\ 939\ 8$$

$$\tau_{m_1}^2 - \tau_{m_2}^2 = 0, 504\ 820\ 7$$

$$A\ 10^\circ \dots \dots \lambda_1 = 1, 002\ 599\ 9$$

$$\lambda_2 = 0, 500\ 832\ 5$$

$$\lambda_1 - \lambda_2 = 0, 501\ 767\ 4$$

$$\frac{g}{g^2} = L = 0^m, 993\ 952,$$

$$G = 9^m, 809\ 91.$$

Telles sont les valeurs de la longueur du pendule à secondes et de l'intensité absolue de la pesanteur dans la salle du comparateur universel, à Breteuil (Bureau international des Poids et Mesures). Les coordonnées du lieu d'observation sont :

Longitude ouest de Paris....	0 <sup>G</sup> , 131
Latitude nord.....	54 <sup>G</sup> , 260
Altitude.....	70 <sup>m</sup> , 4

En admettant une élimination parfaite des perturbations dues à la position du centre d'oscillation, à l'air, à la suspension (c'est-à-dire au roulement du couteau, au glissement de l'arête et à la flexion du support réunis), l'application des lois de la probabilité aux nombres contenus dans les Tableaux de la durée et de la longueur observées conduirait à une erreur probable extrêmement petite, ne dépassant guère un ou deux millièmes de  $g$ . En faut-il inférer que cette fraction minime représente la précision réelle du résultat? Nous ne le croyons pas. Un examen critique développé des observations ne saurait entrer dans le cadre de ce résumé succinct. Nous nous contenterons de dire que l'étude détaillée des perturbations nous

conduit à penser que l'exactitude des chiffres ci-dessus ne peut pas dépasser une demi-unité de la cinquième décimale de L, soit  $\frac{1}{200000}$  de g.

Nous ferons également observer que la valeur de la correction, due au glissement et à la flexion du support réunis, calculée à l'aide des formules (1)

$$\left\{ \frac{g\lambda_1}{\omega^2\tau_{m_1}^2} - \frac{g\lambda_2}{\omega^2\tau_{m_2}^2} \right\} \frac{\lambda_1\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} = n(\rho + \rho') + p\varepsilon$$

atteint dans l'air.....  $0^m,000061$

dans le vide.....  $0^m,000057$

Moyenne....  $0^m,000059$

Le coefficient d'élasticité du support, mesuré statiquement, est

$$\varepsilon = 0^m,0000006,$$

le poids commun des pendules

$$p = 5^{\text{kg}}, 2.$$

On a donc

$$p\varepsilon = 0,000003$$

et, par conséquent

$$n(\rho + \rho') = 0^m,000056.$$

En admettant pour le raisonnement que  $\rho$  et  $\rho'$  sont égaux, on voit que l'effet d'un léger glissement qui, mesuré directement, ne dépasse guère, comme nous l'avons dit plus haut,  $0^{\mu}, 2$  pour une amplitude de  $30'$ , est de relever le centre instantané de rotation de 28 microns. La correction qui en résulte à la longueur du pendule à secondes déduite des observations par la formule usuelle

$$L = \frac{\lambda}{\tau^2},$$

est de 56 microns pour le pendule long,

de 112 microns pour le pendule court.

L'importance de ces corrections justifie amplement l'emploi de la méthode différentielle et en démontre invinciblement la nécessité, toutes les fois qu'il s'agit de mesures absolues.

---

ANNEXE II.

RAPPORT

SUR

L'ÉTUDE DES ÉTALONS MERCURIELS

DE RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE,

Par M. Ch.-Ed. GUILLAUME.

---

Dans mon rapport de l'année dernière, je constatais les difficultés inattendues qui m'avaient empêché d'arriver à un résultat définitif sur la variation de la résistance du mercure avec la température. L'importance d'une connaissance parfaite des étalons mercuriels m'obligeait donc à reprendre mes mesures.

J'ai recommencé le travail *ab ovo*, par de nouveaux procédés, et avec des appareils perfectionnés.

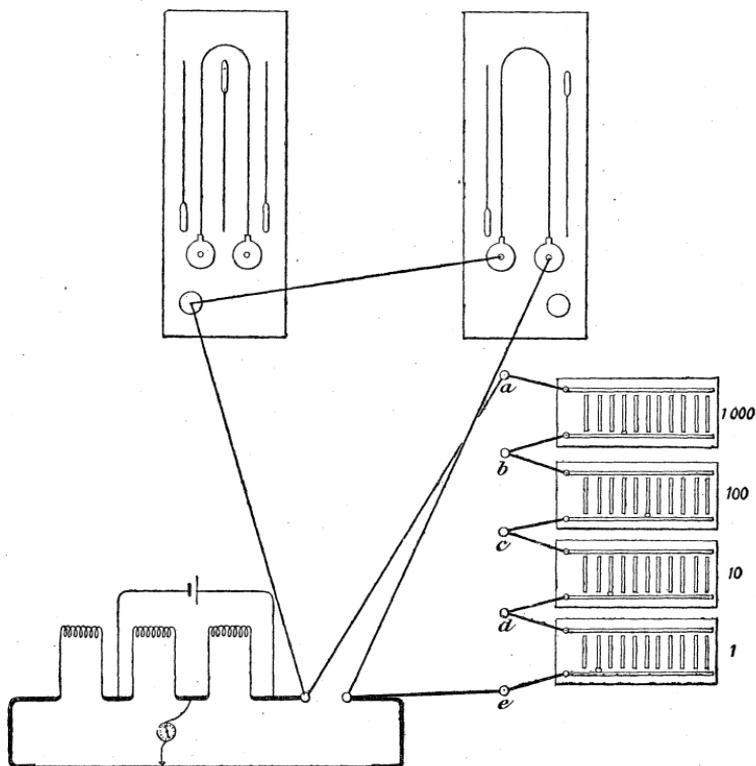
**Méthode.**

La méthode générale consistait encore à comparer un étalon amené à diverses températures avec une unité mercurielle maintenue, pendant toute la durée des mesures, à une température constante. La différence de résistance des deux étalons a toujours été mesurée par deux procédés indépendants : 1° dans un cas, l'équilibre du pont était rétabli en déplaçant un contact sur un fil en fonction de la résistance duquel la quantité cherchée se trouvait mesurée; 2° dans l'autre méthode, la condition de courant nul était établie en introduisant, en dérivation sur les résistances à mesurer, des résistances convenablement choisies. On plaçait, du reste, au commencement de chaque série, le contact sur le fil dans un endroit tel que les dérivations eussent des valeurs aussi favorables que possible à l'exactitude du résultat.

L'élimination des contacts se faisait comme dans mon premier travail, en introduisant toujours le circuit entier des contacts dans le circuit de l'un ou l'autre des étalons.

Il convient encore de remarquer que les dériviations ne peuvent pas être appliquées directement aux extrémités des unités mercu-rielles; je les ai introduites aux prises de courant sur le pont. La *fig. 1*, dans laquelle l'instrument de mesure est indiqué par un

Fig. 1.



simple diagramme, représente l'ensemble du dispositif. On voit, à droite de la figure, les quatre décades de 1, 10, 100 et 1000 ohms, groupées en série, au moyen des godets à mercure *a, b, c, d, e*. On peut ainsi introduire en dérivation des résistances variant par ohms successifs depuis 1 jusqu'à 11110 ohms; lorsque la résistance en dérivation était inférieure à 100 ohms, les godets *a* et *c* étaient réunis directement par une forte tige de cuivre, afin d'éviter l'incertitude produite par les quatre chevilles des décades supérieures.

Dans la mesure par le fil, l'exactitude du résultat dépend évidemment de la détermination de la tare et des erreurs constantes que l'on peut commettre sur la température du fil.

Lorsque les mesures sont faites par les dérivations, la dépendance des divers éléments qui concourent au résultat est plus cachée et il est bon de l'examiner de près.

Soient  $R_1$  et  $R_2$  les résistances à comparer. Nous introduisons, dans chacun de leurs circuits, la résistance  $\varepsilon$  des contacts. Soient  $R'_1$  et  $R'_2$  les dérivations qui ramènent les circuits à l'égalité. L'une de ces dérivations est arbitraire, l'autre en dépend. La condition d'équilibre est donnée par

$$(1) \quad \frac{I}{R_1 + \varepsilon} + \frac{I}{R'_1} = \frac{I}{R_2 + \varepsilon} + \frac{I}{R'_2},$$

d'où l'on tire d'abord

$$(2) \quad R_1 = R_2 - \frac{R_2 + \varepsilon}{\frac{I}{R_2 + \varepsilon} - \frac{R'_1 R'_2}{R'_1 - R'_2} + I},$$

équation qui nous donne la *différence* des résistances en fonction de la résistance de comparaison et des dérivations. Je supposerai  $R_1$  et  $R_2$  peu différents, et j'adopterai, pour la discussion, la divergence maxima de  $\frac{1}{10}$ , qui, du reste, n'a jamais été atteinte dans mes mesures. Dans l'équation d'erreur, je négligerai, dans chaque terme, la quantité  $\frac{R_2 - R_1}{R_2}$  vis-à-vis de l'unité; cette équation devient ainsi

$$(3) \quad dR_1 = dR_2 - R_2 \frac{R_2}{R'_1} \frac{dR'_1}{R'_1} + R_1 \frac{R_2}{R'_2} \frac{dR'_2}{R'_2} - 2 \frac{R_2 - R_1}{R_1} d\varepsilon,$$

en remarquant que

$$R_2 \frac{R'_1 - R'_2}{R'_1 R'_2} = \frac{R_2 - R_1}{R_1}.$$

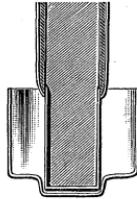
Les termes du second membre, qui dépendent de l'erreur commise sur  $R'_1$  et  $R'_2$ , montrent que cette erreur relative intervient dans la valeur de  $R_1$  après avoir été multipliée par le rapport de la résistance de comparaison à chacune des deux dérivations; l'une de celles-ci pouvant être choisie aussi grande que l'on veut, le plus grand des rapports en question restera inférieur à  $\frac{1}{10}$ . Si donc nous désirons que la méthode de mesure n'introduise pas d'erreurs supérieures à  $\frac{1}{1000000}$ , même dans les cas les plus défavorables, il est nécessaire

de connaître les dérivations à  $\frac{1}{10000}$  près de leur valeur, ce qui ne présente pas de sérieuses difficultés. Le dernier terme montre que, pour une même limite d'erreur, il faut, dans certains cas, connaître la valeur du circuit des contacts à  $\frac{1}{20000}$  d'ohm près (en supposant  $R_2 = 1 \omega$ ), d'où découle la nécessité de mesurer ce circuit dans tous les cas où  $R_1$  et  $R_2$  ne sont pas suffisamment voisins.

### Étalons et contacts.

Dans l'emploi d'étalons trop petits, les erreurs des contacts peuvent fausser le résultat; si, au contraire, les étalons sont trop grands, les pertes par dérivation sont à craindre. Les nouveaux dispositifs employés pour les contacts me faisant espérer de n'introduire de ce fait aucune erreur sensible dans les mesures, j'ai conservé les étalons de  $1 \omega$  environ, qui m'avaient servi dans mes premières recherches. Les tubes, soigneusement nettoyés, furent adaptés à des

Fig. 2.



godets munis d'une embouchure horizontale de  $1 \text{ cm}$  environ de diamètre intérieur sur  $7 \text{ cm}$  de longueur, terminée par un tube plus étroit, dans lequel l'étalon était fixé de telle sorte que son extrémité se trouvât un peu engagée dans le tube large. J'espère, par ce moyen, avoir complètement évité l'échange de chaleur entre l'étalon et l'air extérieur par l'intermédiaire du mercure et des tiges de contact.

Les contacts formés d'une simple capsule de platine soudée à l'extrémité d'une grosse tige de cuivre, m'ayant donné de fort mauvais résultats, je revins aux contacts système Benoit, que je parvins, après quelques essais, à construire de telle sorte qu'ils puissent résister à la température de  $100^\circ$ ; mais je ne tardai pas à être complètement arrêté par une difficulté imprévue : aussitôt que je m'éloignais de la température ambiante, les forces électromotrices parasites devenaient si irrégulières que toute mesure était rendue impossible ;

je ne puis m'expliquer ce phénomène que par une attaque graduelle du cuivre (à l'intérieur des tubes de verre) par le mercure, qui en modifiait continuellement la surface. Je revins alors aux anciens contacts, mais j'eus soin de coiffer la capsule de platine d'un godet de verre fixé par un mastic au silicate de potasse et au carbonate de baryte (*fig. 2*). Ces contacts, qui, sous une forme nouvelle, ne sont autres en principe que ceux de M. Benoît, m'ont donné pleine satisfaction.

### Déterminations préliminaires.

Ces déterminations comprennent :

- 1° La tare du fil;
- 2° L'étude complète des quatre décades de bobines;
- 3° La détermination de la résistance de comparaison.

*Tare.* — La tare a été déterminée au début et à la fin des expériences, chaque fois par trois combinaisons différentes; toutes réductions faites, les résultats, ramenés à 7°, ont été les suivants :

	Valeur de 1 <sup>mm</sup> du fil.
2 et 3 février 1891..... $t = 3,67$ à $4,11$	0,000072796
2 mai "..... 11,82 à 12,17	0,000072783
Moyenne.....	0,00007279.

Soit une différence inférieure à  $\frac{1}{5000}$  entre les deux mesures, et une augmentation de  $\frac{1}{1000}$  depuis l'année dernière.

*Étalonnage et comparaison.* — J'ai commencé par déterminer de nouveau la valeur de la grosse bobine en maillechort B<sub>1</sub>, par rapport à plusieurs unités mercurielles; j'ai trouvé les résultats suivants réduits à 7° :

Le 31 janvier.....	$t = 3,02$ à $3,19$	B <sub>1</sub> = 0,996 87
1 <sup>er</sup> mai.....	11,78 à 12,36	0,996 86

en augmentation de  $\frac{1}{10000}$  sur les premières valeurs.

Les boîtes étant à double entrée, il était aisé de comparer entre elles leurs diverses bobines. La bobine B<sub>1</sub> m'a servi à déterminer la boîte d'ohms, qui, à son tour, m'a permis de mesurer la valeur des dizaines, et ainsi de suite. Comme contrôle, chaque décade, montée en quantité, a été comparée à la précédente. La concordance

a été aussi bonne que possible. La résistance des chevilles et des barres de jonction a été mesurée séparément.

*Résistance de comparaison.* — Cette résistance a été déterminée au moyen de trois copies mercurielles bien connues; on a trouvé :

Les 9 et 10 mars.....	6 mesures	RC à 0° = 1 <sup>0</sup> ,000 17
Le 1 <sup>er</sup> mai.....	2 »	1 <sup>0</sup> ,000 19

L'augmentation de 0<sup>0</sup>,000 85 sur la valeur de l'année dernière provient de la branche horizontale des godets.

### Comparaisons et résultats.

J'ai effectué, par chacune des méthodes de mesure, 32 séries de comparaisons réparties uniformément entre 0° et 61°. Quelques séries, faites avec un étalon vertical, à 0° et à 100°, me paraissent participer encore aux erreurs de température signalées dans mes premières mesures, et n'ont pas été prises en considération pour le calcul. Aucune des mesures faites avec l'étalon horizontal et les nouveaux contacts n'a été exclue du calcul.

Les résultats de ce travail sont consignés dans les formules suivantes, qui, provisoirement, s'appliquent seulement à l'intervalle de 0° à 61°; pour les besoins ordinaires, elles sont, du reste, pleinement suffisantes.

1° Variation apparente de la résistance du mercure dans le verre dur, en fonction du thermomètre à mercure.

a. Par le fil :

$$r_t = r_0 (1 + 0,00087537t + 0,0000010621t^2) \\ \pm \quad \quad \quad 55 \pm \quad \quad \quad 89$$

b. Par les dérivations :

$$r_t = r_0 (1 + 0,00087671t + 0,0000010469t^2) \\ \pm \quad \quad \quad 44 \pm \quad \quad \quad 72$$

2° En fonction de l'échelle normale :

$$a.... r_T = r_0 (1 + 0,00088023T + 0,0000010063T^2),$$

$$b.... r_T = r_0 (1 + 0,00088157T + 0,0000009909T^2).$$

En utilisant les mesures de MM. Benoit et Chappuis, sur la dilatation du verre, on trouve, en fonction de l'échelle normale, la variation réelle :

$$a.... \rho_T = \rho_0 (1 + 0,00088745T + 0,0000010181T^2),$$

$$b.... \rho_T = \rho_0 (1 + 0,00088879T + 0,0000010022T^2).$$

Les résultats obtenus par les deux méthodes sont très concordants, comme on en juge par la simple inspection des formules, en remarquant que les apports des termes en T et T<sup>2</sup> se compensent sensiblement. On remarque enfin que, dans les formules pour  $\rho_T$ , le coefficient de T<sup>2</sup> est sensiblement égal à 10<sup>-6</sup>; en ajoutant 2.60.10<sup>-6</sup> au coefficient de T, on obtient un nombre très voisin de 10<sup>-3</sup>; on en conclut que ces formules peuvent être remplacées par la formule très simple et mnémonique

$$R_{T+60} - R_{60} = R_0 T (1000 + T) 10^{-6}.$$

Le Tableau suivant contient les nombres calculés par ces trois formules :

T.	Valeurs obtenues par		Formule mnémonique.
	le fil.	les dérivations.	
0.....	1,00000	1,00000	1,00000
10.....	1,00890	1,00891	1,00890
20.....	1,01801	1,01803	1,01800
30.....	1,02731	1,02734	1,02730
40.....	1,03682	1,03685	1,03680
50.....	1,04653	1,04656	1,04650
60.....	1,05644	1,05646	1,05640

Dans tout l'intervalle utile, la formule mnémonique rend compte de la variation cherchée, à moins de  $\frac{3}{100000}$  près.

Je donnerai, dans le Tableau suivant, la valeur de la résistance vraie du mercure, d'après la moyenne des formules ci-dessus, et d'après les mesures récentes de divers auteurs faites sur quelque étendue; à côté de chacun de ces résultats se trouve l'excès sur mes mesures.

T.	Benoît.	Siemens et Halske.	Mascart, de Neville et Benoît.	Strecker.	Guillaume.
0...	1,00000 0	1,00000 0	1,00000 0	1,00000 0	1,00000
10...	1,00893-5	1,00874-24	1,00883-15	1,00904+6	1,00898
20...	1,01810-6	1,01774-42	1,01790-26	1,01818+2	1,01816
30...	1,02748-7	1,02703-52	1,02718-37		1,02755
40...	1,03710-4	1,03658-56	1,03668-46		1,03714
50...	1,04695+2	1,04640-53	1,04642-51		1,04693
60...	1,05700+8	1,05650-42	1,05639-53		1,05692

La moyenne de ces mesures donne des nombres inférieurs aux miens; un écart dans le même sens se retrouve dans les déterminations récentes de M. Passavant et de M. Glazebrook, tandis que M. Salvioni donne un résultat très voisin de celui de M. Strecker, c'est-à-dire un premier coefficient fort, un second coefficient à peu près moitié moindre que celui que j'ai trouvé. Les dernières mesures, faites à trois températures seulement, ne peuvent pas être prises en sérieuse considération pour l'établissement d'une formule.

Quant aux résultats de MM. Siemens et Halske, et de MM. Mascart, de Neville et Benoît, ils se rapprocheraient davantage de ceux de mes premières mesures. Mais on a vu que j'avais *a priori* de sérieuses raisons de croire à une erreur systématique dans ces premières expériences, présomption que le résultat des dernières mesures a pleinement confirmée; je ne serais donc pas éloigné de croire que, dans les expériences dont il est question ici, l'erreur de température aux extrémités de l'étalon a joué un rôle assez important.

Quant à la valeur du coefficient du terme en  $T^2$ , elle se retrouve presque identiquement la même que l'année dernière. On peut en conclure que l'erreur de température des bouts était sensiblement proportionnelle à l'écart entre la température de l'étalon et celle de l'air ambiant, et n'agissait, par conséquent, que sur l'inclinaison générale de la courbe, et non sur sa courbure.

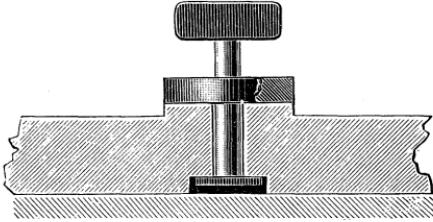
### Nouvelle cheville pour boîtes de résistance.

A l'occasion de l'étalonnage des quatre décades dont je me suis servi, j'ai déterminé à diverses reprises la résistance des chevilles, et j'ai constaté que cette résistance varie dans des limites qui sont à peine admissibles dans les boîtes d'ohms, et deviendraient intolé-

rables dans les boîtes de dixièmes. Cette variabilité tient essentiellement à l'oxydation des surfaces qui établissent le contact, et aux efforts que les chevilles exercent sur l'ébonite. Pour obvier à ces inconvénients, j'ai combiné la cheville suivante, que M. Carpentier a bien voulu mettre à l'essai.

Les deux barres à mettre en contact portent (*fig. 3*) une petite

Fig. 3.



élévation circulaire bien planée; elles sont, à leur partie inférieure, évidées en forme de rampe oblique. La cheville porte un disque correspondant au plan supérieur, et se termine par des ailettes qui viennent faire serrage dans les rampes.

On voit que l'on peut, au moyen de ces chevilles, établir un contact par frottement des deux surfaces avant de faire serrage; les surfaces sont faciles à visiter, et tous les efforts portent sur des pièces métalliques.



## TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
<b>Procès-verbaux des séances de l'année 1891</b> .....	1-131
<i>Procès-verbal de la première séance, du 12 septembre.</i>	1- 57
Ouverture de la session, présidée provisoirement par M. Bertrand.....	1, 2
Ordre du jour, proposé par le Secrétaire.....	2
Éloge de l'ancien Président, G <sup>al</sup> Ibañez, Marquis de Mulhacén, par M. Hirsch.....	2-14
Rapport du Secrétaire.....	14-19
Nomination, par correspondance, de M. Chaney, comme Membre du Comité, à la place de M. Chris- tie, démissionnaire.....	14-17
Lettres de MM. v. Kruspér et Stas, excusant leur absence.....	17-19
Rapports réglementaires du Directeur du Bureau international.....	19-56
<i>I. — Personnel</i> .....	19
<i>II. — Bâtimens</i> .....	19-22
<i>III. — Machines</i> .....	22
<i>IV. — Instruments</i> .....	23-27
<i>V. — Comptes et finances (voir Rapport de la Com-   mission des finances, cinquième séance).</i>	19; 109
<i>VI. — Travaux</i> .....	28-56
Travaux relatifs aux prototypes à traits encore à li- vrer.....	28
Tirage au sort des kilogrammes prototypes destinés au Mexique et à la Roumanie.....	28, 29
Remise des prototypes, échus à la Serbie, à son dé- légué.....	29

	Pages.
Travaux scientifiques de M. Benoit.....	29-33
Travaux de M. Chappuis, 1 <sup>er</sup> Adjoint.....	33-39
Travaux de M. Guillaume, 2 <sup>e</sup> Adjoint.....	39-44
Liste des certificats délivrés à des thermomètres, depuis la dernière session.....	43,44
<i>Annexe I.</i> — Rapport de M. Chappuis sur les comparaisons effectuées aux températures basses entre les thermomètres à alcool, à toluène, et le thermomètre à hydrogène.....	45-53
<i>Annexe II.</i> — Rapport de M. Guillaume sur la mesure des températures par les procédés électriques.....	53-56
Nomination par M. le Président des deux Commissions spéciales.....	56
<i>Procès-verbal de la deuxième séance, du 14 septembre 1891, tenue au Conservatoire des Arts et Métiers.....</i>	58-61
Rapport de M. le Colonel Laussedat, Secrétaire de la Section française, sur l'état actuel des travaux de construction des règles à bouts.....	58-60
Explications sur les délais probables de leur achèvement.....	60,61
<i>Procès-verbal de la troisième séance, du 16 septembre 1891.....</i>	62-78
Premier Rapport de la Commission des Comptes. Approbation des Comptes de 1890.....	62
Continuation du Rapport du Secrétaire.....	63-72
Réponses des États à la circulaire du 25 octobre 1890 au sujet de la ratification du budget de la période B et des données statistiques.....	63,64
Décision du Comité de renvoyer l'élection du Président à la présente session.....	64
Adresse envoyée par le Secrétaire à M. Stas à l'occasion de son jubilé académique.....	64,65
Correspondance avec la Légation du Pérou, concernant des renseignements demandés par celle-ci...	65-67
Correspondance avec l'Ambassade d'Italie au sujet de questions budgétaires.....	67-69

	Pages.
Ratification du budget de la période B par l'Italie..	69
État actuel des versements des contributions.....	69
Correspondance avec la Légation de Roumanie sur la livraison des prototypes.....	70-72
Communication de M. Wild, d'après laquelle le Comi- té international de Météorologie a décidé de prendre le baromètre normal et le thermomètre à hydrogène du Bureau de Breteuil pour base des mesures météorologiques.....	72,73
Élection du Président. ....	73-75
Lecture par M. Gould d'une lettre de M. Stas empê- ché de venir à Paris, et déclinant toute candida- ture.....	73,74
M. Foerster est nommé Président par onze voix contre une.....	75
M. Benoît résume les résultats de ses comparaisons des trois Toises principales au Mètre international.	75,76
MM. Hirsch et Foerster relèvent l'importance de ces résultats, qui seront communiqués à la Conférence géodésique de Florence.....	76,77
M. Chaney annonce devoir retourner en Angleterre dès le 21 septembre. ....	78
<i>Procès-verbal de la quatrième séance, du 19 sep- tembre 1891</i> .....	79- 92
Projet de résolution, préparé par le bureau, concer- nant le droit réclamé par l'Angleterre de se retirer de la Convention.....	80,81
Discussion sur ce sujet et adoption, à l'unanimité, de la résolution proposée.....	81,82
Rapport de la Commission des instruments et des travaux, présenté par M. Foerster.....	83-87
Discussion des propositions de ce Rapport et vote du programme des travaux par le Comité.....	87-90
Première discussion des principes à suivre pour le règlement des taxes de vérification.....	90,91
<i>Procès-verbal de la cinquième séance, du 23 sep- tembre 1891</i> .....	93-126
Annonce de la Légation du Mexique que la finance d'entrée sera versée en octobre.....	93
Projet de Circulaire et de Règlement concernant les taxes de vérification, présenté par M. Wild.....	94-103

	Pages.
Discussion et adoption du projet.....	103, 104
M. le Directeur communique une notice de M. Guillaume sur les mesures de température par les procédés électriques.....	104
M. Gould communique une proposition de M. Chaney de constituer des étalons du décimètre et du gramme.....	104
Discussion et prise en considération de cette proposition.....	105, 106
Proposition de M. Gould, d'inviter M. Michelson à venir en 1892 à Breteuil pour la détermination du rapport entre l'unité métrique et les longueurs d'onde de la lumière.....	106, 107
Discussion et vote sur ce sujet.....	107, 108
Second Rapport de la Commission des Comptes et Finances, présenté par M. Arndtsen.....	109-121
Approbation des conclusions de ce Rapport et décision de fixer la somme des contributions pour 1892 au chiffre effectif de 75 000 <sup>fr.</sup> .....	121
Sur la proposition du Président, le Comité décide le versement d'un acompte de 40 000 <sup>fr.</sup> au Gouvernement français pour les prototypes et témoins fournis au Bureau.....	121-123
Le Comité vote une gratification de 1000 <sup>fr.</sup> aux deux Adjointes du Bureau.....	123
Déclaration du Comité au sujet d'une Note publiée par M. Bosscha sur la comparaison entre le Mètre international et le Mètre des Archives.....	123-125
On décide la plus prochaine publication des comparaisons de ces deux mètres, exécutées dans le temps par la Commission mixte.....	125, 126
<i>Procès-verbal de la sixième séance, du 25 septembre 1891.....</i>	127-130
Démarche à faire auprès de la Légation du Mexique au sujet de la contribution pour l'exercice de 1891.....	127, 128
Vote du crédit de 12 000 <sup>fr.</sup> , à inscrire au Compte I, pour les frais de la détermination de la relation entre le mètre et la longueur d'onde lumineuse.....	128, 129
Renvoi, par voie de correspondance, de l'établissement des listes de distribution pour les publications.....	129
Clôture de la session.....	130

	Pages.
<i>Procès-verbal de la septième séance, du 26 septembre 1891</i> .....	131
Signature des Procès-verbaux .....	131
<i>Annexe I. — Mesure de l'intensité absolue de la pesanteur dans la salle du comparateur universel au Bureau international des Poids et Mesures, à Breteuil, par le Commandant Defforges, du Service géographique de l'Armée française.</i> .....	135-182
Introduction .....	135-137
I. Méthodes et appareils .....	137-151
II. Observations .....	152-177
III. Conclusions .....	178-182
<i>Annexe II. — Rapport sur l'étude des étalons mercuriels de résistance électrique, par M. Ch.-Ed. Guillaume.</i> .....	183-191

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

