

## PROCÈS VERBAL

DES OPÉRATIONS DE VÉRIFICATION QUI ONT ÉTÉ FAITES

SUR LES INSTRUMENTS ET SUR LES ÉTALONS DE MESURE MÉTRIQUES ET PONDÉRAUX

DESTINÉS AU DUCHÉ DE MODÈNE

Les instruments commandés pour le Duché de Modène consistent en :

- 1.<sup>o</sup> une Machine à diviser la ligne droite,
- 2.<sup>o</sup> un Comparateur,
- 3.<sup>o</sup> une Balance.

1.<sup>o</sup> La Machine à diviser la ligne droite porte une vis de 1,<sup>m</sup>20 de longueur; elle permet, par conséquent, de diviser le mètre dans toute la longueur, sans raccord. Elle est munie, en outre, de tous les appareils nécessaires au calibrage des tubes capillaires, à leur division en capacités égales, et à la vérification postérieure de ces divisions.

L'exactitude de cette machine a été vérifiée en traçant des divisions millimétriques sur deux règles en biseau pouvant glisser l'une sur l'autre. On s'est assuré qu'en établissant la coïncidence entre deux divisions quelconques des deux règles, la même coïncidence existait pour toutes les autres divisions, lors même que l'observation était faite à la loupe. Cette épreuve suffit pour établir la précision parfaite de la vis.

2.<sup>o</sup> Le Comparateur permet de comparer entre eux, non seulement les mètres à bouts, mais encore les mètres à traits, et même de comparer les mètres à bouts aux mètres à traits. Enfin, on peut s'en servir pour comparer des mesures quelconques, de toute dimension, aux mesures métriques. On s'est assuré que cet instrument est comparable, pour la pré-

(20)

cision, aux meilleurs instruments de cette espèce. En opérant dans des conditions convenables, on peut évaluer des différences qui ne dépassent pas 0,002 de millimètre.

Ces deux instruments ont été construits par M. Perreaux; M. Bianchi s'est exercé à leur maniement sous la direction de cet habile Artiste.

3.<sup>o</sup> La Balance a été construite par M. Deleuil sur le modèle qui est généralement adopté ici; cependant un perfectionnement important y'a été apporté. Dans les balances ordinaires la colonne verticale qui porte le fléau, pose sur une base en bois, laquelle en se déformant avec le temps ou par l'humidité, détruit l'ajustement de l'appareil. Dans la balance exécutée pour le Duché de Modène, la colonne pose sur une base en fonte de fer, munie de vis calante, ce qui assure, à la fois, la stabilité et l'invariabilité de ses parties essentielles. Nous nous sommes assurés que cette balance, chargée de 1 kilogramme sur chaque plateau, accuse nettement le  $\frac{1}{2}$  milligramme. Le maximum de charge sur chaque plateau ne doit pas dépasser 2 kilogrammes.

Les mesures étalons consistent :

1.<sup>o</sup> en trois mètres à bouts, en laiton, construits par M. Perreaux;

2.<sup>o</sup> en trois kilogrammes en laiton, confectionnés par M. Deleuil, et ayant la forme adoptée en France.

Nous allons décrire les opérations de vérification auxquelles ces mesures ont été soumises.

#### COMPARAISON DES MÈTRES ÉTALONS.

Les Mètres étalons ont été ajustés par l'Artiste jusqu'à ce ils ne présentassent, par rapport au mètre normal, que des différences s'élevant au plus à 0,003 de millimètre. Ils ont été comparés, ensuite sur l'excellent comparateur de Gambey appartenant à l'Observatoire de Paris,

1.<sup>o</sup> avec le mètre étalon à bouts, en platine, du Bureau des longitudes,

2.<sup>o</sup> avec un mètre à traits, en laiton, appartenant également au Bureau des longitudes, et qui avait été précédemment vérifié par rapport à l'étalon en platine, à une époque où la température ambiante était très voisine de 0°.

*Comparaison des Mètres de M. Perreaux  
avec l'étalon en platine du Bureau des longitudes.*

Chaque division du Compareteur égale 0<sup>mm</sup>,002.

*Mètre N. 1.*

1.<sup>re</sup> Détermination — Mètre N. 1. = Mètre en platine + 101,5<sup>de</sup> }  
2.<sup>e</sup> " " " — Mètre N. 1. = Mètre en platine + 101, 0 } moy = 101,5<sup>de</sup> 25 = 0<sup>mm</sup>,2025.

Ainsi, d'après ces déterminations, le mètre N. 1. serait plus long que l'étalon en platine de 0<sup>mm</sup>,2025. Mais ces deux mètres ne doivent être égaux qu'à la température de 0°. Or la température ambiante était, au moment des observations, de 21°,35; il faut donc retrancher de la longueur du mètre en laiton la quantité dont ce mètre se dilate plus que l'étalon en platine pour 21°,35. Si l'on adopte la différence des coefficients de dilatation du laiton et du platine, telle qu'on la déduit des nombres donnés par l'annuaire du bureau des longitudes, on trouve qu'à 21°,35 le mètre en laiton doit être plus long que celui en platine de . . . . . 0,002181  
la mesure directe a donné . . . . . 0, 2025

Différence . . . . . 0, 0156.

Le Mètre en laiton N. 1. serait donc trop court à 0°, de 0,000156.

*Mètre N. 2.*

Mètre N. 2. = Mètre de l'Observatoire + 102<sup>de</sup>,4 = 0<sup>mm</sup>,2048  
température ambiante . . . . . 21°,4

la différence calculée d'après les coefficients de dilat. . . . . 0, 2181

la différence entre les deux mètres à 0° serait donc de . . . . . 0,000133.

*Mètre N. 3.*

1.<sup>re</sup> Détermination — Mètre N. 3. = Mètre en platine de l'Observatoire + 104,0<sup>o</sup> }  
2.<sup>e</sup> " " " — Mètre N. 3. = Mètre en platine de l'Observatoire + 104, 0 } moy = 104,0<sup>o</sup> = 0<sup>mm</sup>,2080  
3.<sup>e</sup> " " " — Mètre N. 3. = Mètre en platine de l'Observatoire + 104, 0 }  
température ambiante . . . . . 21°,35.

(22)

D'après le calcul, le mètre en laiton doit être plus long que le mètre en platine de . . . . .  $0,2181$   
la différence entre les deux mètres à  $0^\circ$  serait donc de...  $0,000101$ .

En résumé, d'après la comparaison directe que nous avons faite des étalons en laiton avec le mètre normal en platine, les étalons en laiton, pris à  $0^\circ$ , seraient trop courts

|                  |                 |
|------------------|-----------------|
| le N. 1. . . . . | de $0,000156$   |
| le N. 2. . . . . | de $0,000133$   |
| le N. 3. . . . . | de $0,000101$ . |

Mais cette comparaison directe ne peut pas inspirer de confiance, à cause de la température très élevée à laquelle elle a eu lieu. Les coefficients de dilatation du laiton et du platine ne sont pas connus avec assez de précision pour qu'on puisse les employer avec sûreté pour calculer les corrections qui correspondent à des grandes différences de température. Nous avons donc jugé préférable de faire la comparaison de nos étalons avec le mètre à traits en laiton de l'Observatoire, lequel a été comparé, précédemment, dans des circonstances très favorables (savoir entre  $1^\circ$  et  $2^\circ$ ) avec le mètre en platine de l'Observatoire. Ce mètre à traits en laiton présente avec le mètre en platine de l'Observatoire précisément la différence de  $0,000003$  dont ce dernier mètre est plus long que le mètre en platine des Archives, qui est le véritable mètre-type. On peut donc regarder le mètre à traits en laiton de l'Observatoire comme identique à  $0^\circ$  avec le mètre-type.

*Comparaison des trois Mètres à bouts en laiton  
avec le Mètre à traits en laiton de l'Observatoire.*

Deux séances, à plusieurs jours d'intervalle, ont été consacrées à cette comparaison. Les mètres à comparer et l'étalon ont été placés la veille sur le Comparateur, afin qu'il ne restât pas de crainte sur l'égalité de température.

Séance du 21 Août 1850.

Mètre N. 1. = Mètre de l'Observatoire — 1,<sup>p</sup> 3 = — 0,<sup>mm</sup> 0026

Mètre N. 1. = Mètre de l'Observatoire — 0, 2 = — 0, 0004

Mètre N. 1. = Mètre de l'Observatoire — 1, 4 = — 0, 0028

Différence moyenne . . . . . = — 0,<sup>mm</sup> 0019

température = 19°, 90.

Mètre N. 2. = Mètre de l'Observatoire + 0,<sup>p</sup> 4 = + 0,<sup>mm</sup> 0008

Mètre N. 2. = Mètre de l'Observatoire + 0, 6 = + 0, 0012

Mètre N. 2. = Mètre de l'Observatoire + 0, 9 = + 0, 0018

Différence moyenne . . . . . = + 0,<sup>mm</sup> 0013

température = 19°, 87.

Mètre N. 3. = Mètre de l'Observatoire + 1,<sup>p</sup> 2 = + 0,<sup>mm</sup> 0024

Mètre N. 3. = Mètre de l'Observatoire + 0, 7 = + 0, 0014

Mètre N. 3. = Mètre de l'Observatoire + 1, 3 = + 0, 0026

Différence moyenne . . . . . = + 0,<sup>mm</sup> 0021

température = 19°, 89.

Ainsi, d'après cette série de déterminations,

le Mètre N. 1. serait trop court de 0,<sup>mm</sup> 0019

le Mètre N. 2. serait trop long de 0,<sup>mm</sup> 0013

le Mètre N. 3. serait trop long de 0,<sup>mm</sup> 0021.

Séance du 10 Septembre 1850.

Mètre N. 1. = Mètre de l'Observatoire — 0,<sup>p</sup> 0 = 0,<sup>mm</sup> 0000

Mètre N. 1. = Mètre de l'Observatoire — 0, 6 = — 0, 0012

Mètre N. 1. = Mètre de l'Observatoire — 0, 0 = 0, 0000

Mètre N. 1. = Mètre de l'Observatoire — 0, 4 = — 0, 0008

Différence moyenne . . . . . = — 0,<sup>mm</sup> 0005

température = 18°, 68.

(24)

Mètre N. 2. = Mètre de l'Observatoire + 0,<sup>d</sup> 15 = + 0,<sup>mm</sup> 0003

Mètre N. 2. = Mètre de l'Observatoire + 0, 5 = + 0, 0010

Mètre N. 2. = Mètre de l'Observatoire + 0, 0 = 0, 0000

Différence moyenne . . . . . = + 0,<sup>mm</sup> 0004  
température = 18°, 16.

Mètre N. 3. = Mètre de l'Observatoire + 0,<sup>d</sup> 3 = + 0,<sup>mm</sup> 0006

Mètre N. 3. = Mètre de l'Observatoire - 0, 05 = - 0, 0001

Mètre N. 3. = Mètre de l'Observatoire + 0, 7 = + 0, 0014

Différence moyenne . . . . . = + 0,<sup>mm</sup> 0006  
température = 18°, 25.

Ainsi, d'après cette seconde série de déterminations,

le Mètre N. 1. serait trop court de 0,<sup>mm</sup> 0005

le Mètre N. 2. serait trop long de 0, 0004

le Mètre N. 3. serait trop long de 0, 0006.

Les différences avec le Mètre-type sont ici plus petites que dans la première série de déterminations, d'environ 1 millième de millimètre; c'est à peu près le degré de précision que l'on peut atteindre dans les conditions les plus favorables et avec les instruments les plus parfaits.

Nous pouvons donc certifier que les étalons envoyés à Modène ne diffèrent pas du Mètre-type français de plus de deux millièmes de millimètre.

*Comparaison des 3 Kilogrammes de M. Deleuil  
avec le Kilogramme type.*

Le Kilogramme étalon que nous avons choisi comme *type* est le kilogramme en laiton du Ministère de l'Intérieur; il a la forme assignée par l'Ordonnance qui régit les poids et les

mesures en France. Les trois kilos étalons destinés au Duché de Modène ont reçu une forme identique; l'artiste nous les a livrés lorsqu'ils avaient, chacun, une surcharge de 20 à 25 milligrammes. Par des usures successives nous les avons amenés à présenter avec le kilogramme type des différences moindres que 1 milligramme.

Nous avons procédé ensuite à la vérification définitive. Celle-ci a été faite avec la balance destinée au Duché de Modène.

Le kilogramme type étant placé sur le plateau A de la balance, nous avons mis sur le plateau B un kilogramme étalon en laiton, appartenant à M. Deleuil, ayant identiquement la même forme que le kilogramme type, et, par conséquent, que les kilogrammes que nous avons à comparer. La balance s'est trouvée presque en équilibre; ce qui nous a prouvé le soin que l'artiste avait mis à approcher, autant que possible, de l'égalité parfaite des deux bras de levier du fléau.

L'équilibre exact ayant été obtenu par l'addition de quelques parcelles de laiton, nous avons ôté le kilogramme type du plateau A, et nous avons mis à sa place, successivement, chacun des kilogrammes à comparer. Nous avons cherché à déterminer, le plus exactement possible, les différences qui existent entre ces kilogrammes et le kilogramme type. Nous avons trouvé ainsi que

le kilogramme N. 1. était trop lourd de  $\frac{1}{2}$  milligramme

le kilogramme N. 2. était trop lourd de  $\frac{1}{2}$  milligramme

le kilogramme N. 3. était trop léger de  $\frac{1}{2}$  milligramme.

Nous n'avons pas voulu toucher à ces poids pour les rendre plus identiques avec le kilogramme type, car nous aurions produit, infailliblement, des différences du même ordre en sens contraire.

La même vérification a été faite pour un quatrième kilogramme étalon destiné à une expérience spéciale que nous décrirons bientôt. Nous désignerons ce kilogramme par *kilogr. N. 4.*

Le procédé que nous avons employé pour faire la comparaison des kilogrammes avec le Kilo type, donne, immédiatement, un résultat absolu; il n'exige aucune correction provenant de l'air déplacé ou des variations qui peuvent survenir dans la densité de cet air pendant le cours des observations; car ces variations affectent de la même manière la tare du plateau B, qui a exactement le même volume et la même forme que le kilo type et que les kilogrammes que nous lui comparions.

La vérification des kilogrammes étalons destinés au Duché de Modène était donc complète; car ces kilogrammes avaient été amenés, aussi exactement que possible, à l'identité avec le kilogramme type français, de même matière et de même forme; et nous avons évalué les petites différences qui ne se sont pas élevées à plus de 1 millionième du poids total.

Nous avons fait plus; nous avons fait une comparaison nouvelle entre le kilogramme type en laiton et le kilogramme type en platine du bureau des longitudes. La saison n'était pas favorable à cette détermination; pour l'obtenir avec toute rigueur, il faudrait la faire à une température très voisine de  $0^{\circ}$ , afin de pas avoir à tenir compte de la dilatation des deux métaux. Cependant, comme cette dilatation est extrêmement petite, le changement qu'elle opère dans le volume des deux kilogrammes ne produit que des différences de poids, inappréciables à la balance, sur l'air déplacé. Il peut donc être négligé sans inconvénient.

Le Kilogramme type en platine consiste en un Cylindre ayant

à  $17^{\circ}, 0$  pour diamètre  $39^{\text{mm}}, 49$   
pour hauteur  $39, 60$ .

Son Volume en centimètres cubes est donc

$$\frac{22}{7 \cdot 4} \cdot (3, 949)^2 \cdot 3, 960 = 48,^{\text{cc}} 522.$$

Quant au Volume du kilogramme type en laiton, nous l'avons déterminé, directement, non pas sur ce kilogramme



type lui même, que nous ne pouvions pas soumettre à cette expérience de peur de l'altérer, mais sur le kilogr. N. IV. dont nous avons précédemment parlé, et dont le volume ne peut pas différer sensiblement de celui du kilo type.

Le poids absolu du kilogramme N. IV. est  $1,^k 000001$ . Ce kilogramme, plongé dans l'eau distillée, à la température de  $16^{\circ}, 97$ , a perdu de son poids une partie représentée par  $124,^{er} 420$  du poids en laiton. La température de l'air ambiant était de  $17^{\circ}, 15$ ; le baromètre, ramené à  $0^{\circ}$ , de  $766,^{mm} 18$ .

Mais la tare du plateau B perd, en ce moment, une partie de son poids représentée par le poids de l'air déplacé par 1 kilogr. de laiton; tandis que du côté A il n'y a qu'une perte de poids correspondant au volume d'air déplacé par  $0,^k 1244$  de laiton. Il faut donc ajouter, à la perte de poids observée, le poids de l'air déplacé par  $0,^k 8756$  de laiton. Or, d'après l'expérience, 1 kilogramme de laiton déplace  $124,^{er} 420$  d'eau; son volume est donc de  $124,^{cc} 420$ . Un poids  $0,^k 8756$  de laiton occupera donc un volume représenté par  $124,^{cc} 420 \times 0,^k 8756$ . Un centimètre cube d'air sec à  $0^{\circ}$  et sous la pression barométrique  $0,^m 760$  pèse  $0,^{gr} 0012932$ . Le poids de l'air déplacé par  $0,^k 8756$  de laiton dans les circonstances de notre pesée est donc exprimé par

$$0,^{gr} 0012932 \cdot 0,8756 \cdot 124,42 \cdot \frac{1}{1+0,00367 \cdot 17^{\circ},15} \cdot \frac{766,18}{760,00} = 0,^{gr} 1336.$$

Et, par suite, le poids absolu de l'eau déplacée par le kilogramme de laiton est

$$\bullet \quad 124,^{er} 420 + 0,^{gr} 1336 = 124,^{er} 5536.$$

La densité de l'eau distillée étant 1,0000 à  $4^{\circ}$ , et 0,9988 à  $17^{\circ}, 0$ , le volume du kilogramme de laiton, à cette température, est

$$124,^{cc} 5536 \cdot \frac{1}{0,9988} = 124,^{cc} 715.$$

On a vu que le volume du kilogramme de platine, est  $48,^{cc} 522$ .

La différence des volumes d'air déplacés par le kilogramme en laiton et par le kilogramme en platine est donc  $76,^{cc} 193$ .

Le kilogramme en platine doit donc paraître plus lourd, dans les circonstances de la pesée, de

$$0,5^{\text{e}} 0012932 \cdot 76,193 \cdot \frac{1}{1+0,00367 \cdot t} \left[ \frac{H_0 - 1f}{760} + 0,622 \cdot \frac{1f}{760} \right]. \quad (A)$$

$H_0$  représentant la hauteur du baromètre,  $t$  la température au moment où l'on a déterminé, expérimentalement, (ainsi qu'il sera dit plus bas) la différence apparente des deux kilogrammes;  $f$  représentant la tension de la vapeur à saturation à la température  $t$ . Nous supposons ici que la fraction de la saturation de l'air est  $\frac{1}{3}$ , comme cela arrive généralement à Paris dans les appartements vastes et non chauffés.

La différence apparente de poids entre le kilogramme type laiton et le kilogramme type platine a été déterminée sur une excellente balance de Gambey appartenant à l'Observatoire. La tare était le kilogramme étalon en laiton qui avait joué le même rôle dans les précédentes comparaisons. On a trouvé ainsi que le kilogramme étalon en platine pèse de plus que le kilogramme type laiton . . . . .  $0,5^{\text{e}} 0895$ .

la température étant de . . . . .  $18,90 = t$

le baromètre ramené à  $0^{\circ}$  . . . . .  $763,80 = H_0$

$f$  . . . . .  $16,25$ .

Si l'on calcule la formule (A) avec ces données, on trouve que le kilogramme de platine doit peser de plus que le kilogramme de laiton . . . . .  $0,5^{\text{e}} 0921$

l'expérience directe a donné . . . . .  $0,5^{\text{e}} 0895$

Différence . . . . .  $0,5^{\text{e}} 0026$ .

Ainsi, si l'on regardait le kilogramme platine comme le véritable type pondéral, le kilogramme type laiton serait trop lourd de  $2,6^{\text{mm}}$ .

Mais, remarquons que le kilogramme platine n'a pas été établi sur les résultats directs des expériences de la Commission française des poids et mesures; *c'est le kilogramme en*

laiton qui est la déduction la plus immédiate des faits. Le poids absolu du kilogramme en platine a été calculé, d'après le type normal en laiton, en admettant les données numériques, fort inexactes pour la plus part, qu'on avait alors sur les éléments physiques des Gaz. Il n'est donc pas étonnant qu'il existe une différence, de l'ordre de celle que nous venons de trouver, entre ces deux types.

Il n'est pas douteux, d'ailleurs, que c'est le type laiton qui doive, aujourd'hui, être regardé, comme le *kilogramme normal*.

Le résultat général de la discussion à laquelle nous venons de nous livrer, montre, que les instruments destinés au Duché de Modène, présentent toute la précision, et la perfection d'exécution, que l'on peut obtenir, dans l'état actuel des arts mécaniques.

Les vérifications des appareils et des étalons métriques et pondéraux, dont le procès verbal détaillé est donné cy-dessus, ont été faites en notre présence à tous trois; et nous certifions l'exactitude complète du dit procès verbal.

En foi de quoi nous avons signé ceci, en double expédition.

Paris ce 11 Septembre 1850.

J. B. BIOT.

V. REGNAULT.

J. BIANCHI.

Pour Copie conforme

J. BIANCHI.

#### PRÉCAUTIONS PRISES POUR L'EMBALLAGE DES INSTRUMENTS.

Nous avons fait apporter à l'emballage des instruments, les précautions qui nous ont parues convenables pour éviter toute altération par les secousses ou par l'humidité.

Les boîtes renfermant les mètres étalons ont été placées dans une caisse double, recouverte de toile grosse. Cette caisse

(30)

a été placée dans une seconde caisse double, recouverte de toile grosse, laquelle contient en outre la machine à diviser.

Le banc du comparateur a été renfermé dans une caisse double, recouverte de toile grosse. Une caisse semblable contient le chariot du comparateur, et celui de la machine à diviser. Les thermomètres étalons de M. Fastré sont enfermés dans les caisses précédentes.

La balance a été renfermée dans une caisse recouverte de toile grosse.

Chaque kilogramme étalon est renfermé dans une boîte garnie de vélours. Ces boîtes ont séjourné préalablement, pendant plusieurs jours, sous une cloche avec de la Chaux vive. Les trois boîtes ont été enfermées dans un étui en fer blanc, qui a été ensuite soudé hermétiquement. Les boîtes renfermant les autres poids ont été également desséchées par la Chaux. Tous les poids sont emballés dans une petite caisse recouverte de toile grosse.

Ces caisses ont été plombées à la Douane, puis renvoyées au Roulage.

N.° Les Caisnes qui portent les Numéros 1, 2, 3 et 4 composent l'envoi de M. Perreaux. On devra ouvrir d'abord la Caisse N.° 4. On y trouvera une instruction à suivre dans l'opération du déballage.

Les Caisnes qui portent les Numéros 5 et 6 composent l'envoi de M. Deleuil. On devra ouvrir d'abord la Caisse N.° 5. On y trouvera une instruction à suivre dans l'opération du déballage. Il est essentiel de se conformer exactement à ces deux instructions.