

RECHERCHES EXPERIMENTALES

SUR LE

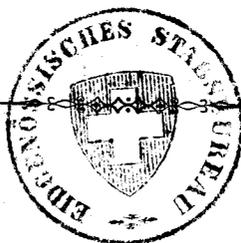
MOUVEMENT SIMULTANÉ D'UN PENDULE

ET

DE SES SUPPORTS

PAR

E. PLANTAMOUR, professeur



GENÈVE, BALE, LYON

H. GEORG, LIBRAIRE-ÉDITEUR

—
1878

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR LE

MOUVEMENT SIMULTANÉ D'UN PENDULE

ET

DE SES SUPPORTS

PAR

E. PLANTAMOUR, professeur



GENÈVE, BALE, LYON
H. GEORG, LIBRAIRE-ÉDITEUR

—
1878

GENÈVE. — IMPRIMERIE RAMBOZ ET SCHUCHARDT.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR LE

MOUVEMENT SIMULTANÉ D'UN PENDULE

ET

DE SES SUPPORTS

Dans le pendule à réversion, suivant la construction de Repsold, le plan de suspension est fixé à un plateau assez massif en laiton, qui est porté par trois tubes creux, en laiton également, deux des pieds étant sur une ligne parallèle au plan d'oscillation, et le troisième dans une direction perpendiculaire à cette ligne. Lorsque le pendule oscille, la composante horizontale de son poids peut produire une flexion alternativement sur l'un, ou sur l'autre, des deux tubes, s'ils ne sont pas absolument rigides, et donner lieu ainsi à un déplacement du plan de suspension, tantôt dans un sens, tantôt dans le sens opposé, suivant que le pendule est d'un côté, ou de l'autre, de la verticale.

MM. Cellérier et Peirce ont étudié, au point de vue théorique, l'influence que pouvait avoir ce déplacement oscillatoire du plan de suspension sur le mouvement du pendule lui-même, et ils ont développé les formules à l'aide desquelles on pouvait éliminer cette cause d'erreur, par l'application d'une correction devant être apportée à la durée d'une oscillation, ou à la longueur du pendule simple faisant une oscillation dans une seconde. Le calcul de cette correction exige la connaissance d'une quantité k , par laquelle on désigne le rapport de la déviation ϵ du plan

de suspension, produite par l'application d'une force horizontale d'une valeur connue p , et qui peut être mesurée par un certain poids. Ce rapport k doit être déterminé par des expériences, il peut varier d'un pendule à l'autre, suivant la rigidité plus ou moins grande du trépied en laiton, et il y a également lieu d'examiner s'il ne varie pas, pour le même pendule, suivant la nature du support, ou du pilier, sur lequel le trépied est placé. Si en raison de sa flexibilité, dépendant de la matière dont il est formé, ou de sa masse relativement peu considérable, le support participe d'une manière appréciable au mouvement oscillatoire du trépied métallique, et oscille simultanément avec ce dernier et avec le pendule, le rapport k pourra être différent de celui qui résulterait de la flexion seule du trépied métallique. Dans le cas, par conséquent, où le même pendule aurait servi à la détermination de la pesanteur dans différentes stations, et aurait été placé sur des supports, ou piliers, d'une construction ou d'une nature différente, l'influence de cette cause sur la valeur de k doit être déterminée par des expériences directes.

Ce rapport k peut être déterminé directement par une expérience statique, ainsi que l'a fait M. Peirce; la force horizontale p était donnée par un poids de 1^{kg} attaché à un fil passant sur la gorge d'une poulie très-mobile, et fixé au plan de suspension, de telle façon qu'il exerçât une traction dans une direction horizontale perpendiculaire au milieu du plan. La déviation ε du plan de suspension résultant de cette traction était mesurée à l'aide d'une échelle en verre fixée au plan, et d'un microscope muni d'une vis micrométrique, placé sur un support indépendant. L'avantage de ce mode d'expérimentation consiste en ce que la force horizontale p , donnée par un poids d'un kilogramme, est beaucoup plus forte que la composante horizontale du poids du pendule, que l'on peut rencontrer même avec les plus grands arcs d'oscillation; la déviation ε est par conséquent aussi beaucoup plus forte que celle qui se produit dans les oscillations du pendule. Cette dernière serait à peine appréciable, et dans tous les cas elle ne serait pas mesurable avec le grossissement que l'on peut obtenir à l'aide d'un microscope, tandis que la déviation pro-

duite par une traction d'un kilogramme s'élève à une quantité qu'il est possible de mesurer avec ce grossissement. Mais il se présente d'un autre côté la question de savoir si la valeur du rapport $\frac{\varepsilon}{p}$, obtenu par cette expérience statique, peut être appliquée sans autre pour faire connaître la déviation horizontale produite par les oscillations du pendule, c'est-à-dire dans des circonstances tout à fait différentes. Cette question ne pouvait être tranchée que par des expériences directes, mais il fallait pour cela recourir à un mode d'expérimentation, par lequel on pût obtenir un grossissement beaucoup plus fort que celui qu'il était possible de réaliser avec un microscope, grossissement permettant non-seulement d'apercevoir mais de mesurer, à une petite fraction près, des quantités dont la grandeur réelle ne dépassait pas un petit nombre de microns.

Un pareil grossissement a été obtenu par M. Hirsch, qui a eu l'idée très-heureuse de ne pas mesurer directement la déviation du plan de suspension produite par une force horizontale, mais de la mesurer indirectement par le changement d'inclinaison d'un petit miroir réfléchissant dans une lunette, placée à une distance de plusieurs mètres, les divisions d'une échelle fixée près de cette lunette. Ce petit miroir était fixé à un axe horizontal en acier, terminé par deux pivots reposant sur des coussinets pratiqués dans une pièce de laiton solidement fixée à la muraille. Les déviations du plan de suspension étaient transmises à l'axe par l'intermédiaire d'une pointe très-fine, fixée au plateau qui surmonte le trépied, et sur laquelle venait s'appuyer une lamelle encastrée dans l'axe portant le miroir. L'appareil était lesté à l'aide d'un petit contre-poids de telle façon qu'il vint appuyer contre la pointe avec un poids suffisant, pour qu'il pût suivre celle-ci dans les mouvements alternatifs du plan de suspension résultant de la flexion du trépied. L'inclinaison du miroir subissait des variations égales à l'angle, dont la lamelle faisait tourner l'axe; en faisant appuyer la pointe à un petit nombre de millimètres du centre de l'axe (dans mes expériences environ 3 millimètres en moyenne), et en plaçant la lunette, ainsi que l'échelle à une distance de 4^m,5 du miroir, on obtenait sans peine un grossissement de 3000 fois environ. Lorsque dans les

oscillations du pendule l'amplitude totale de la déviation du plan de suspension ne dépassait pas un petit nombre de microns, 3, 4 ou 5, les déplacements apparents de l'échelle atteignaient 10, 12 à 15 millimètres, c'est-à-dire une quantité susceptible d'être mesurée avec une assez grande approximation.

Après avoir terminé ses expériences à Neuchâtel, M. Hirsch m'envoya le pendule vers la fin du mois d'août, afin que je pusse les répéter à Genève, et je me suis servi du même appareil de miroir qu'il avait fait construire. J'ai seulement employé un autre procédé pour déterminer la longueur du bras de levier, par lequel la pointe agit sur l'axe; M. Hirsch avait enduit l'extrémité de la pointe d'un peu d'encre grasse, afin qu'elle laissât une marque visible au point de la lamelle sur lequel elle avait appuyé; l'expérience terminée, il mesurait à l'aide d'un micromètre la distance de ce point à chacun des bords de l'axe, et par suite à son centre. J'ai pu faire usage pour mes expériences d'une très-bonne vis micrométrique, qui avait été mise à ma disposition avec la plus grande obligeance par l'atelier de construction d'instruments de physique, à Genève. Cette vis pouvait faire mouvoir dans une direction verticale un coulisseau, auquel était fixée la pièce portant les coussinets sur lesquels reposait l'axe; l'on pouvait ainsi faire varier la longueur du bras de levier d'une quantité déterminée en élevant ou en abaissant l'axe d'un nombre donné de tours de la vis micrométrique. Le tambour de celle-ci était divisé en 100 parties, et la hauteur du pas de vis d'un peu plus d'un tiers de millimètre ($2^t,98 = 1^{\text{mme}}$). Pour allonger la longueur du bras de levier de 3mm exactement, il suffisait d'abaisser le coulisseau de $8^t,94$. La détermination du grossissement se faisait très-simplement avec cet arrangement; la pointe étant à une distance a de l'axe, correspondant à peu près au grossissement que l'on désirait obtenir, on déterminait la grandeur E de l'excursion observée sur l'échelle par l'application d'un poids d'un kilogramme. La valeur de E était déduite de la moyenne de plusieurs lectures de l'échelle, faites alternativement en enlevant et en appliquant ce poids d'un kilogramme. Puis, après avoir abaissé le coulisseau de $8^t,94$,

c'est-à-dire allongé le bras de levier de 3^{mm} , on répétait la même série d'expériences, afin d'obtenir l'excursion e de l'échelle résultant du même poids, mais avec un bras de levier $a + 3^{\text{mm}}$; E et e étant également exprimés en millimètres, on a $a = \frac{3e}{E-e}$. Si D représente la somme des distances du miroir à l'échelle, et du miroir à la lunette, le grossissement sera $\frac{D}{a}$, et par suite $\frac{a}{D}$ le facteur par lequel il faut multiplier l'excursion observée sur l'échelle, pour avoir la déviation correspondante du plan de suspension. Je faisais ordinairement une seconde détermination de E après avoir ramené le coulisseau dans sa position primitive, au commencement, ou à la fin d'une série d'expériences; dans les derniers temps je faisais même une détermination complète du grossissement avant et après chaque série d'expériences, et j'en prenais la moyenne. L'on ne peut pas compter en effet sur une invariabilité de l'appareil, telle que la longueur du bras de levier reste absolument constante pendant un intervalle de temps plus ou moins long; par suite de tassements, de changements de température, etc., il peut se produire de très-légères variations dans la longueur du bras de levier, qui donnent lieu à des variations appréciables, quoique très-faibles, dans la valeur du grossissement.

Dès le début des essais, j'ai reconnu que la déviation du plan de suspension, produite par une traction horizontale correspondant au poids d'un kilogramme, ne s'opérait pas dans toute son étendue, immédiatement après l'application de la force. On comprend facilement que la traction opérée par un poids d'un kilogramme ne pouvait pas avoir lieu brusquement, comme cela aurait eu lieu si on l'avait abandonné à lui-même, en le laissant tomber même de la très-faible hauteur à laquelle il se trouvait, lorsque le fil n'était pas encore tendu, le poids étant supporté. Il en serait résulté une secousse qui aurait pu être préjudiciable à l'instrument, et qui aurait donné lieu, en outre, à des vibrations de l'appareil telles que la lecture de l'échelle n'aurait guère été possible. La traction s'opérait graduellement en accompagnant le poids de la main, de telle façon que la tension du fil ne fût complète qu'au bout de deux

secondes; dans les premières secondes qui suivaient cet instant, la déviation du plan de suspension continuait à avoir lieu, et les divisions de l'échelle passaient sous le fil de la lunette avec une vitesse qui ne permettait guère de faire une lecture. Cependant l'échelle dont je me servais était divisée en millimètres, peints alternativement en blanc et en noir, ce qui rend la lecture plus facile. Un phénomène analogue, mais en sens inverse, se produisait lorsque le poids était soulevé, ce qui n'avait pas lieu non plus brusquement, mais graduellement, de telle façon que la tension du fil fût complètement annulée au bout de deux secondes; le mouvement continuait dans les secondes suivantes, les divisions de l'échelle passant en sens inverse sous le fil.

J'ai fait le 6, le 7 et le 8 septembre plusieurs expériences pour déterminer l'accroissement de la déviation avec l'intervalle de temps, au bout duquel la tension opérée par le fil avait été complète, ou entièrement supprimée. La première lecture de l'échelle était faite le 6 septembre cinq secondes après l'instant où la tension du fil était complète, puis successivement de cinq secondes en cinq secondes, jusqu'à ce que les divisions de l'échelle parussent stationnaires dans la lunette; de même les lectures étaient faites de cinq en cinq secondes, la première ayant lieu cinq secondes après l'instant où la tension du fil avait complètement cessé. Dans les expériences du 7 et du 8 la première lecture était faite cinq secondes après l'instant où la tension du fil avait commencé, ou cessé, et les suivantes de dix en dix secondes. En prenant l'excursion de l'échelle, déduite des lectures faites au bout du même intervalle de temps après l'application du poids et après sa suppression, en la réduisant dans le rapport du grossissement et à l'effet produit par un poids de 100 grammes, que j'ai pris pour unité de poids dans toutes mes expériences, on trouve les valeurs suivantes de la déviation du plan de suspension opérée au bout d'un certain intervalle de temps.

6 Septembre		7 Septembre		8 Septembre	
au bout de	5 ^s ; $k = 4,902$	au bout de	5 ^s ; $k = 4,826$	au bout de	5 ^s ; $k = 4,616$
	10 ; $k = 4,996$		15 ; $k = 4,954$		15 ; $k = 4,667$
	15 ; $k = 5,025$		25 ; $k = 4,998$		25 ; $k = 4,717$
	20 ; $k = 5,065$		35 ; $k = 5,021$		65 ; $k = 4,896$
	25 ; $k = 5,085$		45 ; $k = 5,043$		
	30 ; $k = 5,101$		55 ; $k = 5,063$		
	40 ; $k = 5,110$		65 ; $k = 5,092$		
	45 ; $k = 5,115$				
	50 ; $k = 5,126$				
	55 ; $k = 5,128$				
	60 ; $k = 5,139$				

J'ajoute que la déviation k du plan de suspension, pour une force de 100 grammes, déduite des oscillations mêmes du pendule, était pour ces trois jours :

le 6 septembre	μ 4,612
le 7 »	4,580
le 8 »	4,209

Ces chiffres ne laissent guère de doute sur le fait que dans une expérience statique, faite avec un poids relativement considérable, la position d'équilibre du trépied, et par suite du plan de suspension, n'est atteinte qu'au bout d'un intervalle d'un assez grand nombre de secondes. Si l'on attend par conséquent pour faire la lecture que l'équilibre soit réalisé, c'est-à-dire que l'échelle soit immobile, on obtient une excursion de l'échelle, c'est-à-dire une valeur de la déviation sensiblement plus forte que celle que l'on aurait trouvée, si les lectures avaient pu être faites à l'instant même où la tension du fil a été effectuée, ou supprimée. L'on peut du reste en trouver la confirmation dans toutes les autres séries d'expériences, dans lesquelles j'ai indiqué la valeur obtenue par ce procédé statique. La déviation du plan de suspension étant produite par une flexion du trépied, il est facile de comprendre que le temps entre comme facteur dans le déplacement des molécules donnant lieu à la flexion, à

moins de leur supposer une vitesse infiniment grande. Les circonstances qui se rencontrent dans la déviation du support, produite par une expérience statique faite avec un poids considérable, sont ainsi très-différentes de celles que l'on trouve dans le mouvement oscillatoire produit par l'excursion du pendule de part et d'autre de la verticale. Dans les oscillations du pendule, la composante horizontale de son poids ne dépasse pas, pour notre instrument du moins, 75 à 80 grammes, même pour la plus grande amplitude observable, et le pendule étant suspendu sur le couteau le plus éloigné du centre de gravité; cette composante passe ainsi du maximum de 80 grammes dans un sens, au maximum de 80 grammes dans le sens opposé, dans un intervalle de $\frac{3}{4}$ de seconde à chaque oscillation. Si la flexion totale résultant de l'application d'une force donnée ne se produit qu'au bout d'un intervalle de temps considérablement plus long que la durée d'une oscillation, ainsi que le montrent les chiffres donnés plus haut, on ne peut évidemment pas prendre le rapport k , donné par l'expérience statique, comme étant la mesure réelle du mouvement qui a lieu dans les oscillations.

J'ai renoncé pour cette raison à faire usage de la déviation du support déterminée par une expérience statique, autrement que pour la mesure du grossissement. La même objection ne se présente pas dans la détermination du grossissement, pourvu que les excursions de l'échelle E et e correspondant aux bras de levier a et $a + 3^{\text{mm}}$ soient données par des lectures faites au bout d'un intervalle suffisant, 40 à 50 secondes, pour que l'équilibre soit atteint et que la même division reste sous le fil.

Si l'on se propose de déterminer le mouvement du support par les oscillations mêmes du pendule, mouvement qui est très-appréciable, puisqu'avec un grossissement de 3000 l'excursion de l'échelle est d'un assez grand nombre de millimètres, la rapidité de ce mouvement rend l'observation très-difficile sur une échelle divisée en millimètres. Les deux limites de l'excursion sont atteintes dans un intervalle de $\frac{3}{4}$ de seconde seulement, et l'on n'a pas le temps de saisir la division, avec la fraction correspondante de millimètre, sous laquelle le fil se trouve à cha-

que limite. Pour obvier à cet inconvénient, j'ai fait faire une autre échelle portant un certain nombre d'espaces blancs, d'une grandeur déterminée se détachant sur un fond noir qui les séparait. Ces espaces blancs étaient au nombre de 14, échelonnés entre 20^{mm} et 3^{mm}, et j'avais demandé que la largeur de chacun d'eux fût d'un nombre rond de millimètres que j'avais indiqué. Cette échelle était mobile dans la direction de la verticale, à l'aide d'une crémaillère et d'une vis de rappel, en sorte que l'observateur pouvait, sans ôter l'œil de la lunette, l'abaisser ou l'élever à volonté, de façon à placer un point quelconque sous le fil. Avec cette disposition l'on n'avait pas à noter le nombre de millimètres, ainsi que la fraction correspondante, à chaque limite de l'excursion du fil sur l'échelle, mais seulement à observer si le fil atteignait exactement les limites de tel ou tel espace. Cette observation pouvait se faire avec une assez grande précision, vu la manière dont les espaces blancs se détachaient sur un fond noir; au moment où l'excursion de l'échelle coïncidait avec l'un des espaces, l'amplitude de l'arc d'oscillation était observée dans une autre lunette placée à angle droit de la première, et à une distance de 5 à 6 mètres du pendule.

L'observation se faisait ensuite sur un autre espace blanc, qui était amené sous le fil à l'aide de la vis de rappel et de la crémaillère; l'ordre dans lequel les différents espaces étaient successivement amenés était celui de leur grandeur, en commençant par les plus grands, et afin de ne pas attendre trop longtemps, jusqu'à ce que, par la diminution de l'arc d'amplitude des oscillations, le mouvement du support fût réduit des limites de l'un des espaces à celles du suivant, un aide placé près du pendule amortissait le mouvement du pendule avec un corps mou, tel qu'une barbe de plume, de manière à ce que les limites du nouvel espace ne fussent que très-légèrement dépassées. Lorsque ces limites étaient atteintes, l'observateur qui suivait l'excursion de l'échelle donnait le signal pour que l'amplitude de l'arc d'oscillation fût notée par l'autre observateur. La série des espaces blancs étant terminée dans une des positions du pendule, l'on en recommençait une seconde, une troisième, etc., après

avoir de nouveau porté l'amplitude de l'oscillation à son maximum, et l'on prenait la moyenne de toutes les valeurs de l'amplitude obtenues pour le même espace blanc, valeurs qui ne différaient jamais entre elles au delà des limites d'un très-petit nombre de minutes. Dans mes premières expériences je faisais des séries analogues d'observations après avoir retourné le pendule, et l'avoir suspendu sur le couteau le plus rapproché du centre de gravité; dans cette position, la composante horizontale du poids est réduite à un peu plus de la moitié de ce qu'elle est dans l'autre mode de suspension. La réduction de ces observations m'ayant montré que le mouvement du support était réduit aussi très-sensiblement dans le même rapport, il m'a paru inutile de répéter chaque fois des expériences faites dans un mode de suspension moins favorable, puisque la quantité qu'il s'agissait de mesurer était réduite à la moitié environ, et que la réduction donnée par l'observation s'accordait avec celle indiquée par la théorie, et j'ai pensé qu'il était préférable de multiplier les séries d'observations faites le pendule étant suspendu par le couteau le plus éloigné du centre de gravité.

Dans chaque série d'expériences, chacun des espaces blancs donne une équation de condition entre le rapport k , qu'il s'agit de déterminer, la grandeur de l'espace blanc réduite par le grossissement à sa dimension réelle, et la composante horizontale du poids du pendule correspondant à l'amplitude observée. Après avoir terminé à peu près tous les calculs en admettant que chacun de ces espaces eût exactement la grandeur du nombre rond de millimètres qu'il était censé avoir, je me suis aperçu que tel de ces espaces donnait systématiquement un écart dans un sens relativement à la moyenne des autres, et tel autre espace un écart en sens opposé. Ces différences pouvant être attribuées, selon toute probabilité, à une erreur dans la grandeur qui était assignée à chaque espace, je me suis adressé à l'atelier de construction d'instruments de physique, qui a bien voulu mesurer leurs dimensions exactes à l'aide de la machine à diviser de cet établissement. Ces mesures ont donné des corrections tantôt en plus, tantôt en moins, au

nombre rond de millimètres qui avait été assigné aux différents espaces, corrections s'élevant en maximum à deux dixièmes de millimètre; après avoir refait les calculs avec la valeur corrigée de ces espaces, qui sera donnée un peu plus loin, ces écarts systématiques d'un espace à l'autre ont disparu, circonstance qui peut certainement être regardée comme une preuve du degré de précision que l'on peut obtenir par ce mode d'expérimentation.

J'ai fait également un grand nombre d'expériences dans lesquelles j'ai essayé de reproduire artificiellement, par des poids, le mouvement oscillatoire du support résultant des oscillations du pendule; l'observation se faisait de la manière suivante. L'on attachait au fil passant sur la poulie, et servant aux expériences statiques, un petit godet dans lequel on introduisait de la grenaille de plomb, le poids maximum du godet avec son contenu, lorsqu'il était plein, s'élevant à 200 grammes environ; ce godet était alternativement soulevé et abaissé à des intervalles réguliers de $\frac{3}{4}$ de seconde, d'après les battements d'un métronome réglé à cet effet. L'on obtenait de cette façon par la traction exercée par le poids à l'un des battements, et suspendue au battement suivant, un mouvement oscillatoire du support tout à fait analogue, quant à la durée de la période, et à l'intensité de la force qui le produisait, à celui qui a lieu dans les oscillations du pendule. L'aide qui manœuvrait le godet, ajoutait quelques grains de grenaille, ou en enlevait, jusqu'à ce que le mouvement du support parût à l'observateur, qui suivait ce mouvement dans la lunette, exactement compris entre les limites de l'un des espaces blancs; le godet était alors enlevé et placé avec son contenu sur une balance, pour déterminer le poids Q auquel correspondait le mouvement observé. L'observation était répétée ensuite sur les différents espaces blancs.

Dans les expériences que j'avais faites à Genève, au mois de septembre, les valeurs de k obtenues à l'aide de ce procédé pour reproduire artificiellement le mouvement oscillatoire du support, différaient assez peu de celles qui avaient été données par les oscillations du pendule lui-même, pour que j'aie cru pouvoir les réunir et en prendre la moyenne.

L'on peut cependant signaler une différence entre ces deux mouvements: dans les oscillations du pendule, l'amplitude totale du mouvement du support, telle qu'elle est accusée par les limites de l'excursion de l'échelle, est produite par une force horizontale qui varie dans l'espace de $\frac{3}{4}$ de seconde, et par degrés insensibles sans aucune secousse, de $-\frac{Q}{2}$ à $+\frac{Q}{2}$, si $\frac{Q}{2}$ est la composante horizontale du poids du pendule correspondant à la déviation maximum de la verticale. Dans la reproduction artificielle de ce mouvement à l'aide de poids, lorsqu'à chaque battement alternatif du métronome l'aide laisse retomber le godet, après l'avoir soulevé, il en résulte une secousse très-appreciable dans la lunette; cette secousse donne même lieu à des vibrations dans l'appareil, qui rendent l'observation sensiblement plus difficile, dès que le poids atteint ou dépasse 100 grammes.

Les circonstances ne sont donc pas identiques dans les deux modes d'expérimentation, et si, comme c'est le cas, on trouve systématiquement une valeur de k plus forte dans le mouvement du support produit artificiellement par les poids, il est permis de supposer que l'excursion est augmentée par la force vive développée par la chute du godet. Cette idée m'est venue à la suite des expériences faites à Berlin, d'après lesquelles le rapport k est très-sensiblement plus fort dans le mode d'expérimentation avec les poids que celui qui est donné par les oscillations du pendule, différence que j'ai cru pouvoir attribuer à la cause suivante.

A Berlin, l'installation du pendule dans la grande salle du comparateur, située dans le bâtiment affecté à la commission des poids et mesures de l'empire allemand, était à plusieurs égards loin d'être favorable. Cette salle présente, il est vrai, sous le rapport d'une constance très-remarquable de la température, un grand avantage pour les observations du pendule, mais comme cette constance résulte, indépendamment de ses grandes dimensions, de l'absence complète de toute ouverture, ou jour sur l'extérieur, tous les préparatifs préliminaires d'installation et d'ajustement sont singulièrement compliqués par la nécessité de recourir en tout à la lumière artificielle, l'obscurité y étant complète; de plus,

l'aération de la salle est très-imparfaite, ce dont on s'aperçoit facilement quand on y a passé plusieurs heures de suite. Mais l'inconvénient principal de cette salle, pour des observations du pendule, pour lesquelles elle n'était pas destinée dans l'origine, se trouve dans l'insuffisance des piliers sur lesquels le pendule peut être installé. Le grand pilier au centre de la salle est occupé par le grand comparateur, et le seul pilier disponible, situé près de l'une des extrémités, a seulement 40 centimètres de côté; comme l'écartement des pieds du pendule est de 63 centimètres, il faut recourir à la superposition d'une assise dont la surface soit suffisamment grande. Les astronomes qui m'avaient précédé dans l'exécution d'observations du pendule dans ce local, avaient fait tailler dans ce but une pierre en mollasse ayant la forme d'un triangle équilatéral de 71 centimètres de côté, la surface supérieure étant plane, mais la surface inférieure évidée sur une partie, laissant une épaisseur de 15 centimètres en maximum, et de 9-12 centimètres pour la partie évidée. Je me suis servi également de cette pierre, qui, en raison des excavations pratiquées sur la surface inférieure (l'une de ces excavations était faite pour obvier à la saillie d'une pièce en fer scellée sur la surface supérieure du pilier, et destinée à supporter les règles de grande dimension mesurées au comparateur) ne pouvait pas être scellée et cimentée sur le pilier, mais seulement superposée. Ce mode d'installation est certainement loin d'être favorable et d'offrir des garanties de stabilité, attendu que dans tous les cas les trois points de la pierre triangulaire, sur lesquels le trépied repose, tombent en dehors du pilier; l'inconvénient aurait été moindre s'il avait été possible de placer cette pierre de telle façon que l'un des côtés du triangle, celui qui est parallèle au plan d'oscillation, eût été aussi parallèle à l'une des faces du pilier. L'on aurait obtenu de cette façon au moins une disposition symétrique, et les deux points parallèles au plan d'oscillation, sur lesquels le pendule repose, auraient pu être placés de la même quantité en dehors des surfaces correspondantes du pilier. Mais une pareille disposition n'était pas possible, parce que, d'une part, les dimensions de la salle n'auraient permis de placer la lunette ser-

vant à l'observation des oscillations qu'à la distance insuffisante de 2^m,5 à 3 mètres, et que d'autre part il aurait fallu renoncer à la détermination du mouvement du support ; cette détermination exige en effet l'installation d'une lunette dans le plan d'oscillation, ce qui aurait été absolument impossible vu la position occupée par le grand comparateur.

Je me suis donc trouvé dans l'alternative, ou bien de renoncer complètement à faire les observations du pendule à Berlin, ou bien, si je persistais à les faire malgré une installation de l'instrument reconnue d'avance comme défectueuse, de déterminer le mouvement du support dans des conditions identiques à celles dans lesquelles il se présente lorsque l'on observe la durée des oscillations.

La pierre triangulaire a été posée, de travers, pour ainsi dire, sur le pilier, le côté du triangle parallèle au plan d'oscillation n'étant pas parallèle à la face correspondante du pilier, mais faisant avec elle un angle de 25° environ ; la perpendiculaire au plan d'oscillation, menée du centre du pendule, passait alors par l'embrasure de la porte de communication avec la pièce à côté, en sorte que la lunette pouvait être placée, à une distance de 4^m,5 du pendule, sur un trépied reposant sur une dalle en pierre formant le seuil de la porte et scellée sur le mur mitoyen entre les deux pièces. D'après cette position oblique, la direction du plan d'oscillation ne passait plus sur le comparateur, mais à côté, et il était possible de placer à une distance de 6 mètres du pendule la lunette servant à l'observation du mouvement du support ; mais d'un autre côté, les trois points d'appui du trépied se trouvaient dans une position très-peu symétrique relativement aux faces du pilier. Des deux points d'appui qui sont sur une ligne parallèle au plan d'oscillation, l'un débordait beaucoup plus que l'autre en dehors du pilier, la ligne joignant en projection horizontale le centre du pendule, et l'un des points d'appui était presque perpendiculaire à la face correspondante du pilier, ce point se trouvant de 14^{cm} en dehors. L'autre point d'appui était fort peu en dehors du prolongement de la face opposée du pilier, dont il n'était distant que de 9 centimètres environ.

Cette disposition ne donne pas la garantie que la stabilité de la pierre, sur laquelle le pendule repose, soit la même dans tous les sens; si par conséquent cette pierre participe au mouvement produit par la flexion du trépied, suivant que le poids du pendule se porte d'un côté, ou de l'autre, dans les oscillations, il n'est pas certain que cette participation soit la même des deux côtés, l'un des points d'appui reposant sur une base plus solide que l'autre. Il se présenterait quelque chose d'analogue à ce qui aurait lieu, si les tubes de laiton n'avaient pas la même rigidité, la flexion serait plus forte d'un côté que de l'autre pour une même amplitude de l'oscillation de part et d'autre de la verticale, ou par l'application d'un même poids suivant qu'il porterait d'un côté, ou de l'autre. Dans les expériences statiques sur la déviation du support à Berlin, et dans celles par lesquelles on produisait un mouvement oscillatoire par l'abaissement et le soulèvement alternatif d'un poids, celui des pieds de l'instrument, sur lequel la flexion était produite par l'application du poids, était précisément celui dont le point d'appui était dans les conditions les plus défavorables, c'est-à-dire situé le plus en dehors du pilier. Il était donc possible que le mouvement de la pierre, résultant de la pression exercée sur les points d'appui du pendule, fût plus grand d'un côté que de l'autre, et que l'on pût expliquer ainsi un mouvement du support plus considérable dans les expériences, dans lesquelles le point d'appui le moins solide était seul en jeu, que dans celles où la déviation totale du support résultait de la flexion opérée alternativement sur les deux montants, suivant que le pendule était d'un côté ou de l'autre, de la verticale. En attribuant à cette cause la différence assez sensible entre les valeurs du mouvement du support trouvées dans les deux modes d'expérimentation, il fallait nécessairement adopter celle, pour laquelle l'expérimentation est faite dans des circonstances identiques à celles qui se présentent dans la détermination de la durée d'une oscillation, c'est-à-dire celle déduite des oscillations mêmes.

Dans les expériences que j'ai faites à Genève, au mois de septembre, sur le mouvement du plan de suspension, j'ai d'abord placé le pendule

sur le même support sur lequel il avait été installé dans les observations déjà publiées, faites dans les années 1865, 1866 et 1871. C'est un support en bois, qui sert ordinairement à l'installation d'une lunette de Dollond, de trois pouces d'ouverture, appartenant à l'Observatoire, et malgré l'inconvénient que pouvait présenter le bois, au point de vue de l'élasticité, il était d'une construction tellement massive, surtout en comparaison de la frêle apparence des tubes creux en laiton du trépied, que je n'avais pas hésité à m'en servir, parce qu'il avait exactement les dimensions requises. Ce support était formé d'un plateau triangulaire en noyer, de 70^{cm} de côté et de 9^{cm},5 d'épaisseur, porté par trois pieds carrés, de noyer également, chaque côté mesurant 10^{cm},5, ces pieds étaient inclinés et reliés dans leur partie inférieure par de fortes traverses en noyer larges de 10^{cm},5 et d'une épaisseur de 7^{cm},5. Il reposait enfin sur le sol dallé et voûté de la salle par trois fortes vis de calage, en fer, de 2^{cm} de diamètre, l'écartement entre les vis était de 1^m,025, et la hauteur de la surface supérieure du plateau au-dessus du sol de 62^{cm}. Après avoir terminé les expériences relatives au mouvement du plan de suspension, le pendule étant placé sur ce support, je l'ai enlevé, et après avoir écarté le support, je l'ai replacé au même endroit, mais le trépied métallique reposant directement sur le sol de la salle, afin de déterminer, par la comparaison avec les mêmes expériences répétées dans cette nouvelle position, l'influence que pouvait avoir le support en bois. Cette influence est certainement très-sensible, car, comme on peut le voir par les tableaux des observations qui suivent, le mouvement du plan de suspension est réduit à peu près dans le rapport de 4 : 3, lorsque le pendule est placé directement sur le sol, au lieu d'être installé sur le support en bois.

Ces expériences du mois de septembre ont été faites dans des circonstances qui n'étaient malheureusement pas les mêmes que celles dans lesquelles les observations du pendule, en vue de la détermination de la pesanteur, sont exécutées, c'est-à-dire le comparateur étant en place à côté du pendule. J'avais en effet enlevé le comparateur dans le but d'obtenir

une installation plus commode ; la détermination expérimentale du mouvement du plan de suspension était encore un sujet très-peu connu et peu étudié, et n'ayant pas pour me guider l'expérience des précautions à prendre dans ces recherches, je n'avais pas songé à l'influence considérable que pouvait avoir la présence ou l'absence du comparateur. La circonstance qui rendait l'installation plus commode, en enlevant le comparateur, tient à la difficulté de concilier les exigences nécessaires à l'expérimentation avec les conditions imposées par les dimensions et les dispositions du local. Il fallait nécessairement que l'appareil portant le miroir fût fixé contre la face sud de l'Observatoire, et presque à l'extrémité occidentale de la salle ; si le pendule était tourné de telle façon que le comparateur fût placé du côté opposé à la face sud, il pouvait rester en place, puisque l'on avait la facilité de fixer la pointe au bord du plateau le plus rapproché de la face sud, mais alors il ne restait du côté de l'ouest qu'une distance tout à fait insuffisante, de 1^m à 1^m,5, pour placer la lunette servant à l'observation de l'amplitude des oscillations. En tournant le pendule de l'autre côté, c'est-à-dire de 180° de la position précédente, on pouvait observer l'amplitude des oscillations, la lunette étant placée du côté de l'est à une distance de 6 mètres environ, mais il fallait enlever le comparateur, qui était alors du côté de la face sud, afin de pouvoir placer la pointe déterminant le changement d'inclinaison du miroir.

La réduction provisoire des essais faits à Berlin, le comparateur étant en place, m'ayant donné pour le mouvement du plan de suspension un chiffre sensiblement moindre que celui que j'avais trouvé à Genève, même lorsque le pendule était placé directement sur le sol, sans l'interposition d'un pilier, ou support, j'ai pensé que la présence du comparateur pouvait jouer un rôle dans cette diminution. Le dernier jour, tous les essais étant terminés, j'ai fait une ou deux expériences statiques en enlevant, et en remplaçant alternativement le comparateur, afin d'obtenir une évaluation approximative de l'influence qu'il pouvait exercer sur le mouvement, et les chiffres ont montré que cette influence était tellement

considérable, que les expériences faites à Genève au mois de septembre, le comparateur étant enlevé, étaient absolument sans valeur pour déterminer le mouvement du plan de suspension, tel qu'il a réellement lieu dans les observations du pendule.

J'ai donc repris ces expériences au mois de novembre, aussitôt après mon retour de Berlin; dans cette nouvelle série, le comparateur était en place et l'appareil exactement dans les mêmes conditions que dans les observations du pendule. L'instrument était donc tourné de telle façon que la pointe fût fixée au bord du plateau tourné vers la face sud, le comparateur étant du côté opposé; comme il était impossible de placer du côté ouest une lunette à une distance suffisante pour observer directement l'amplitude des oscillations, on a fixé à la place un miroir qui réfléchissait le couteau inférieur et l'arc divisé dans la direction opposée, c'est-à-dire vers l'est, en laissant la lunette à la même place qu'elle occupait au mois de septembre.

Ces expériences ont porté sur le mouvement du plan de suspension, le pendule étant placé comme précédemment sur le support en bois, puis en le plaçant sur un pilier en pierre, identique quant aux dimensions à ceux que j'avais fait construire dans toutes les stations suisses, dans laquelle j'ai observé le pendule. Tous ces piliers étaient des blocs carrés, d'un seul morceau, ayant 80 centimètres de côté et 62 centimètres de hauteur, ils ne différaient d'une station à l'autre que par la nature de la roche, qui variait suivant la localité, et par la nature du sol sur lequel ils étaient posés. Ainsi, au Simplon, le pilier était en gneiss, en calcaire au Weissenstein, en mollasse à Berne, au Righi et au Gâbris. Au Simplon et à Berne, le pilier reposait sur une forte voûte, dans les autres stations sur des fondations en maçonnerie. Le pilier que j'avais fait faire pour les expériences de Genève, et dont les dimensions sont celles qui viennent d'être indiquées, est en mollasse de Berne, son poids est d'une tonne environ, et il reposait directement sur le sol voûté de la salle. Les expériences sur ce pilier ont été faites dans les deux alternatives, le comparateur étant en place, et ayant été enlevé.

Les tableaux suivants renferment les résultats des expériences faites à Genève, en septembre et en novembre, et à Berlin au mois d'octobre. Ces dernières ont été faites avec le concours obligeant de M. le professeur Förster et de M. le Dr Becker, qui ont bien voulu m'assister de leur coopération en observant dans l'une des lunettes l'amplitude de l'arc d'oscillation du pendule, pendant que j'observais à l'autre lunette l'excursion de l'échelle produite par le mouvement du plan de suspension. Le 28 octobre, les observations ont été faites par M. le professeur Förster, le 27 et le 29 octobre par M. le Dr Becker, et je saisis avec empressement cette occasion pour leur exprimer ma reconnaissance pour l'obligeance qu'ils ont mise à m'assister dans ces expériences, aussi bien qu'en ce qui concerne les observations du pendule. Tous les arrangements et toutes les mesures qui pouvaient faciliter l'installation des appareils, la transmission de l'heure de l'Observatoire par enregistrement électrique, etc., ont été pris par eux, en même temps que le local était mis à ma disposition, et je ne peux que me féliciter d'avoir trouvé un accueil aussi bienveillant.

Je dois encore ajouter que les observations du mouvement du plan de suspension étaient rendues plus difficiles, à Berlin, par suite de la trépidation du sol, et des petites vibrations qui en résultaient dans l'appareil du miroir. Celui-ci ne pouvait pas être fixé à l'une des faces du bâtiment comme cela avait lieu à Genève, il était porté par trois tubes en fer de quatre centimètres de diamètre, scellés dans leur partie inférieure dans le massif de maçonnerie qui supporte les piliers, et réunis dans leur partie supérieure, où ils étaient recourbés, par de forts écrous et boulons, de manière à former une espèce de dais au-dessus de l'instrument. Le massif de maçonnerie étant complètement indépendant et isolé, non-seulement des murs du bâtiment, mais aussi du sol, sur toute sa hauteur qui s'élevait à huit mètres, on était bien à l'abri de tout ébranlement pouvant résulter d'un mouvement dans la salle même, ou dans le reste du bâtiment; et en effet, les plus fortes secousses sur le plancher de la salle, dans le voisinage de l'instrument, ne produisaient aucune vibra-

tion sur l'appareil du miroir reposant uniquement sur ce massif. Mais le bâtiment se trouve dans le voisinage de quelques-unes des grandes artères de la circulation, dans lesquelles le mouvement des charrois et des voitures de toute espèce est incessant ; sur un pavé aussi inégal que celui des rues de Berlin, il en résulte un tremblement constant du sol, qui se communique au massif de maçonnerie par le sol sur lequel il repose, et par suite à l'appareil du miroir auquel il imprimait de petites vibrations. Ces vibrations rendaient la limite des espaces blancs et des intervalles noirs, dans la lunette, un peu difficiles à saisir, cette limite oscillant autour d'une position moyenne. Par moments, ces oscillations étaient assez fortes pour rendre l'image trop confuse pour que l'observation fût possible, et il fallait attendre un instant de calme comparatif ; l'on m'assurait que j'obtiendrais un calme presque complet, si je faisais les expériences entre 3 et 5 heures du matin, mais je n'ai pas eu le courage de l'essayer. Dans la soirée, entre 8 et 10 heures, les circonstances étaient déjà un peu plus favorables, d'une part, à cause de la cessation du travail dans les fabriques du voisinage, qui contribuaient également à l'ébranlement, d'autre part, parce qu'à cette heure le camionnage avait sensiblement diminué.

A Genève, le même inconvénient se présentait également, mais à un degré bien moins fort, le mouvement et la circulation dans les rues étant considérablement moindres, surtout dans le quartier de l'Observatoire, et l'ébranlement étant aussi plus faible sur des routes macadamisées, comme elles le sont toutes dans le voisinage, que sur le pavé. Néanmoins, toutes les fois qu'une voiture passait à proximité de l'Observatoire, il se produisait des vibrations qui m'obligeaient à interrompre l'observation pendant quelques instants, mais elles étaient suivies d'un calme complet, ce qui n'était pour ainsi dire jamais le cas à Berlin. Par contre, on était exposé à Genève à des vibrations et à des mouvements dus à une autre cause, et qui ne pouvaient pas avoir lieu à Berlin, savoir ceux qui provenaient de l'action du vent contre les faces du bâtiment, l'appareil étant fixé à la face sud, et cela lors même que le vent

soufflait du nord et frappait la face opposée. Bien que l'édifice soit assez solidement construit, et très-peu élevé, il suffisait d'un vent assez peu fort pour lui imprimer des oscillations, qui étaient rendues très-sensibles par le mouvement imprimé au miroir, et par l'amplitude 3000 fois plus grande de l'excursion de l'échelle dans la lunette, l'échelle et la lunette étant fixées au sol de la salle et étant indépendantes des parois. A chaque rafale, on voyait les divisions de l'échelle passer sous le fil dans le sens qui correspondait à une inclinaison des murs dépendant de la direction du vent; la rafale passée, ou seulement diminuant d'intensité, les divisions repassaient sous le fil en sens inverse. Les observations étaient impossibles dès que l'agitation de l'atmosphère était un peu sensible; le même effet s'est produit un soir de pluie abondante, même par un vent assez faible, qui suffisait cependant pour que les gouttes de pluie frappassent la façade, le toit ne débordant pas de manière à former un abri. Il était du reste très-facile de s'assurer, par une expérience directe, ce que j'ai fait soit à Berlin, soit à Genève, que les vibrations du miroir ne provenaient pas d'une agitation de l'air dans la salle, de courants venant de l'extérieur, ou dus à une cause intérieure; en agitant assez fortement l'air dans le voisinage du miroir à l'aide d'une feuille de carton, et en produisant de cette façon des courants assez forts, il n'en résultait, sur l'appareil du miroir, aucune vibration sensible se traduisant par un déplacement de l'échelle dans la lunette.

A Genève, c'est l'astronome adjoint, M. le Dr Meyer, qui m'a assisté dans les expériences; il observait dans l'une des lunettes l'amplitude de l'arc d'oscillation, pendant que j'observais dans l'autre lunette l'excursion de l'échelle et le mouvement du support. Dans les expériences dans lesquelles le mouvement oscillatoire du plan de suspension est reproduit artificiellement, par le soulèvement et l'abaissement alternatifs d'un poids, j'ai eu, à Genève, au mois de septembre, le concours obligeant de M. Ebersberg, contre-maître de l'atelier de Plainpalais, qui s'était chargé de cette manœuvre du poids, et de la pesée effectuée de suite sur place, pendant que j'observais dans la lunette l'excursion de l'échelle. Lui

et M. Schmidtgen m'ont assisté de la manière la plus efficace et la plus obligeante pour tout ce qui concerne l'installation des appareils. A Berlin, et à Genève, après mon retour de Berlin, j'ai eu pour aide un mécanicien de Vienne, M. Andree, qui m'a rendu les plus grands services par l'intelligence et par l'adresse avec lesquelles il m'a assisté dans toutes les opérations.

Il me reste enfin à ajouter quelques explications sur les tableaux suivants, qui renferment les résultats des expériences faites à Genève et à Berlin. La première colonne renferme la désignation de l'espace blanc, sur lequel porte l'observation correspondante, par un numéro d'ordre indiquant le rang qu'il occupe sur l'échelle; voici la dimension exacte de chacun de ces espaces, telle qu'elle a été déterminée à l'aide de la machine à diviser de l'atelier de Plainpalais :

Espace N°	mm
1	20,056
2	16,800
3	14,200
4	11,000
5	7,923
6	4,860
7	11,760
8	5,833
9	9,883
10	7,823
11	6,866
12	4,860
13	3,850
14	3,066

Les espaces 7 et 8 n'existaient pas dans l'origine, ils ont été ajoutés plus tard, et intercalés dans un intervalle vide entre les numéros 6 et 9.

La seconde colonne, intitulée y donne, en microns, la grandeur de l'espace, réduite par le facteur $\frac{a}{D}$, à la déviation observée du plan de suspension, a étant la longueur du bras de levier par lequel la pointe change l'inclinaison du miroir, et D la somme des distances du miroir

à l'échelle et à la lunette, les valeurs de α et de D sont indiquées pour chaque série d'expériences. Lorsque les expériences portent sur les oscillations du pendule lui-même, la colonne suivante, intitulée α , donne le nombre de minutes dont le pendule oscillait de part et d'autre de la verticale, au moment où l'excursion de l'échelle était égale à l'espace blanc correspondant. L'on trouve dans la colonne suivante, intitulée Q , le double de la composante horizontale du poids du pendule correspondant à l'amplitude α , c'est-à-dire le poids correspondant à la déviation du plan de suspension produite par l'amplitude totale de l'oscillation, donnant lieu à l'excursion totale de l'espace blanc de l'échelle. L'unité de poids à laquelle se rapporte Q est de 100 grammes, et sa valeur a été calculée par la formule

$$2 P. \frac{h}{l} \cdot \alpha \sin 1', \text{ ou } 2 P. \frac{h'}{l} \cdot \alpha \sin 1'$$

suivant que le pendule était suspendu par le couteau le plus éloigné, ou le plus rapproché du centre de gravité, $\frac{h}{l}$ et $\frac{h'}{l}$ représentant, dans les deux cas, le rapport de ces distances h et h' à la longueur de l'intervalle entre les couteaux. P est le poids du pendule qui, d'après l'unité adoptée est 30,5, en sorte qu'avec les valeurs de h , h' et l pour notre instrument, on a

$$2 P. \frac{h}{l} \cdot \sin 1' = 0,011547 \text{ et } 2 P. \frac{h'}{l} \cdot \sin 1' = 0,006197$$

Lorsque les expériences portent sur le mouvement oscillatoire du plan de suspension produit artificiellement par le soulèvement et l'abaissement alternatifs d'un poids dans un intervalle de $\frac{3}{4}$ de seconde, la colonne relative à α reste naturellement vide et celle relative à Q donne le poids directement obtenu par la pesée.

D'après le mode d'expérimentation adopté, soit par les oscillations, soit par les poids, la déviation y , déduite de l'excursion de l'échelle dans la lunette, ne représente pas entièrement la déviation du plan de suspension correspondant à un poids Q , et l'on ne peut pas déduire simplement la constante k de la relation $y = k Q$. L'on ne mesure pas en effet

directement la déviation du plan de suspension, mais indirectement, par le mouvement communiqué par la pointe à un appareil qui oppose une résistance à ce mouvement, soit par sa masse, le miroir étant lesté et appuyant avec une certaine force sur la pointe, par l'intermédiaire de la lamelle, soit par le frottement des pivots de l'axe sur ses coussinets. Si l'on désigne par Q' le poids représentant l'action réunie de ces deux causes, qui agissent dans un sens directement opposé à celui du poids Q , la déviation observée y sera produite par la différence des poids Q et Q' , et l'on aura $y = k(Q - Q')$. L'équation de condition, que donne l'observation de chaque espace blanc, renferme ainsi deux inconnues, k et Q' ; l'inconnue Q' peut être regardée comme constante pendant la même série d'expériences faites le même soir, les circonstances pouvant influer sur la valeur de Q' , telles que la force avec laquelle l'appareil appuie sur la pointe, suivant la manière dont le miroir est lesté, et le frottement ne changeant pas dans un aussi court intervalle de temps, mais cette inconnue Q' peut varier d'une série à l'autre, et d'un jour à l'autre. Il m'a paru plus commode, pour la résolution des équations, de remplacer l'inconnue Q' par une autre k' , déterminée par la relation $k' = k.Q'$; l'équation de condition peut alors être mise sous la forme $k.Q - k' = y$, ou $k - \frac{k'}{Q} = \frac{y}{Q}$; c'est la forme sous laquelle elles sont données dans les tableaux suivants. Les valeurs de k et de k' sont ensuite déduites des équations de condition par la méthode des moindres carrés, ainsi que leurs poids et leur erreur moyenne; la colonne intitulée « Valeur calculée, » donne la valeur du second membre après la substitution des valeurs de k et de k' , et l'on trouve dans la colonne suivante l'écart pour chaque équation de condition. J'indique également, pour chaque série d'expériences, la valeur de k déduite de l'opération statique ayant servi à la détermination du grossissement avec un poids de un kilogramme, c'est-à-dire $Q = 10$; si Y représente l'excursion de l'échelle réduite dans le rapport du grossissement, on a $k = \frac{Y}{10} + \frac{k'}{10}$

1° Expériences faites à Genève, le pendule étant placé sur le support en bois et le comparateur étant enlevé.

Espace blanc.	y	α	Q	Equations de condition		Valeur calculée	ε
A. Par les oscillations du pendule.							
6 septembre 1877 , de 8 h. à 10 h. du soir. $a = 3^{mm},851$ $D = 8599^{mm}$, grossissement 2213							
<i>Moyenne de trois observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus éloigné du centre de gravité.</i>							
No	μ			k	k'	μ	μ
3	6,359	141,0	1,628	$k - 0,614$	$k' = 3,906$	3,958	+ 0,052
4	4,926	109,25	1,262	$k - 0,793$	$k' = 3,904$	3,768	- 0,136
5	3,548	88,0	1,016	$k - 0,984$	$k' = 3,491$	3,564	+ 0,073
6	2,176	63,5	0,733	$k - 1,364$	$k' = 2,968$	3,160	+ 0,192
<i>Moyenne de quatre observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus rapproché du centre de gravité.</i>							
11	3,075	141,7	0,878	$k - 1,139$	$k' = 3,501$	3,400	- 0,101
12	2,176	112,7	0,698	$k - 1,432$	$k' = 3,117$	3,088	- 0,029
13	1,724	97,0	0,601	$k - 1,6635$	$k' = 2,866$	2,841	- 0,025
14	1,373	84,7	0,525	$k - 1,905$	$k' = 2,616$	2,584	- 0,032
équations finales				$8 k - 9,8945 k' = 26,3695$		écart moyen $\pm 0,080$	
				$- 9,8945 k + 13,5795 k' = -31,185$		$\pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{6}} = \pm 0,113$	
				d'où $k = 4,612$ poids 0,791 erreur moyenne $\pm 0,127$			
				$k' = 1,0645$ » 1,342 » $\pm 0,097$ $Q' = 0,231$			
L'expérience statique avait donné $k = 5\mu,139$ après une minute de l'application d'un poids de 1 ^{kg} .							
7 septembre , de 8 ^h à 10 ^h soir. $a = 2^{mm},779$ $D = 8599^{mm}$, grossissement 3095.							
<i>Moyenne de deux observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus éloigné du centre de gravité.</i>							
No	μ			k	k'	μ	μ
1	6,480	137,5	1,588	$k - 0,630$	$k' = 4,081$	3,961	- 0,120
2	5,428	120,5	1,391	$k - 0,719$	$k' = 3,901$	3,874	- 0,027
3	4,588	106,0	1,224	$k - 0,817$	$k' = 3,748$	3,777	+ 0,029
4	3,554	87,5	1,010	$k - 0,990$	$k' = 3,518$	3,608	+ 0,090
5	2,560	66,5	0,768	$k - 1,302$	$k' = 3,334$	3,301	- 0,033
6	1,570	47,0	0,543	$k - 1,8425$	$k' = 2,893$	2,768	- 0,125
<i>Moyenne de deux observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus rapproché du centre de gravité.</i>							
9	3,193	147,0	0,911	$k - 1,098$	$k' = 3,506$	3,501	- 0,005
10	2,528	127,0	0,787	$k - 1,271$	$k' = 3,212$	3,332	+ 0,120
11	2,219	114,0	0,706	$k - 1,4155$	$k' = 3,141$	3,190	+ 0,049
12	1,570	90,5	0,561	$k - 1,783$	$k' = 2,800$	2,828	+ 0,028
13	1,244	79,0	0,490	$k - 2,043$	$k' = 2,541$	2,573	+ 0,032
14	0,991	69,0	0,428	$k - 2,339$	$k' = 2,317$	2,282	- 0,035
équations finales				$12 k - 16,250 k' = 38,993$		écart moyen $\pm 0,058$	
				$- 16,250 k + 25,297 k' = -49,5675$		$\pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{10}} = \pm 0,078$	
				d'où $k = 4,580$ poids 1,561 erreur moyenne $\pm 0,062$			
				$k' = 0,9825$ » 3,292 » $\pm 0,043$ $Q' = 0,215$			
L'expérience statique avait donné $k = 5\mu,082$, après une minute de l'application d'un poids de 1 ^{kg} .							

MOUVEMENT SIMULTANÉ

1° Expériences faites à Genève, le pendule étant placé sur le support en bois et le comparateur étant enlevé.

Espace blanc	y	α	Q	Equations de condition		Valeur calculée	ε
8 septembre de 7h 1/2 à 10h du soir. $a = 2^{\text{mm}},606$ $D = 8599^{\text{mm}}$, grossissement 3299.							
Moyenne de trois observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus éloigné du centre de gravité.							
N°	μ						
1	6,079	143,3	1,655	$k - 0,604$	$k' = 3,673$	3,635	$- 0,038$
2	5,092	124,3	1,435	$k - 0,697$	$k' = 3,548$	3,548	0
3	4,304	106,7	1,232	$k - 0,812$	$k' = 3,493$	3,438	$- 0,055$
4	3,334	89,7	1,036	$k - 0,9655$	$k' = 3,219$	3,292	$+ 0,073$
5	2,401	67,8	0,783	$k - 1,277$	$k' = 3,067$	2,996	$- 0,071$
6	1,473	52,2	0,603	$k - 1,659$	$k' = 2,444$	2,634	$+ 0,190$
Moyenne de trois observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus rapproché du centre de gravité.							
9	2,995	149,7	0,928	$k - 1,078$	$k' = 3,229$	3,186	$- 0,043$
10	2,371	128,0	0,793	$k - 1,261$	$k' = 2,989$	3,012	$+ 0,023$
11	2,081	117,0	0,725	$k - 1,379$	$k' = 2,870$	2,900	$+ 0,030$
12	1,473	93,0	0,576	$k - 1,735$	$k' = 2,556$	2,562	$+ 0,006$
13	1,167	81,0	0,502	$k - 1,992$	$k' = 2,325$	2,318	$- 0,007$
14	0,929	70,2	0,435	$k - 2,299$	$k' = 2,136$	2,027	$- 0,109$
équations finales				$12 k - 15,7585$	$k' = 35,549$	écart moyen $\pm 0,054$	
				$- 15,7585 k + 23,741$	$k' = - 43,793$	$\pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{10}} = \pm 0,081$	
				d'où $k = 4,209$	pois 1,540	erreur moyenne $\pm 0,065$	
				$k' = 0,9494$	» 3,046	» $\pm 0,046$ $Q' = 0,226$	
L'expérience statique avait donné $k = 4^{\text{p}},896$ après une minute de l'application d'un poids de 1^{kg}							
B. Par l'action d'un poids alternativement soulevé et abaissé.							
12 septembre , de 7h 1/2 à 10h soir. $a = 2^{\text{mm}},974$ $D = 8599^{\text{mm}}$ grossissement 2891							
Moyenne de deux observations pour chaque espace blanc, l'une en parcourant l'échelle de haut en bas, l'autre de bas en haut.							
N°	μ						
2	5,811		1,518	$k - 0,659$	$k' = 3,828$	3,851	$+ 0,023$
3	4,911		1,291	$k - 0,775$	$k' = 3,804$	3,725	$- 0,079$
4	3,805		1,036	$k - 0,965$	$k' = 3,672$	3,516	$- 0,156$
5	2,740		0,846	$k - 1,183$	$k' = 3,239$	3,280	$+ 0,041$
11	2,375		0,7935	$k - 1,260$	$k' = 2,993$	3,194	$+ 0,201$
12	1,682		0,616	$k - 1,623$	$k' = 2,729$	2,798	$+ 0,069$
13	1,332		0,532	$k - 1,880$	$k' = 2,503$	2,518	$+ 0,015$
14	1,060		0,459	$k - 2,179$	$k' = 2,310$	2,192	$- 0,118$
équations finales				$8 k - 10,524$	$k' = 25,078$	écart moyen $\pm 0,088$	
				$- 10,524 k + 15,866$	$k' = - 30,783$	$\pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{6}} = \pm 0,124$	
				d'où $k = 4,570$	pois 1,020	erreur moyenne $\pm 0,123$	
				$k' = 1,0915$	» 2,022	» $\pm 0,087$ $Q' = 0,239$	
L'expérience statique avait donné $k = 4^{\text{p}},910$ par l'action d'un poids de 1^{kg} suspendu pendant 40s							

1° Expériences faites à Genève, le pendule étant placé sur le support en bois et le comparateur étant enlevé.

Espace blanc	y	α	Q	Equations de condition		Valeur calculée	ε
<p>13 septembre, de 7^h 1/2 à 10^h soir. $a = 3^{\text{mm}},044$ $D = 8599^{\text{mm}}$ grossissement 2825. Moyenne de deux observations pour chaque espace blanc, l'une en parcourant l'échelle de haut en bas l'autre de bas en haut.</p>							
N°	μ			k	k'	μ	μ
2	5,947		1,4995	$k - 0,667$	$k' = 3,966$	3,952	$- 0,014$
3	5,027		1,297	$k - 0,771$	$k' = 3,876$	3,869	$- 0,007$
4	3,894		1,0435	$k - 0,958$	$k' = 3,732$	3,718	$- 0,014$
5	2,805		0,808	$k - 1,238$	$k' = 3,471$	3,494	$+ 0,023$
11	2,430		0,7075	$k - 1,413$	$k' = 3,435$	3,353	$- 0,082$
12	1,720		0,5835	$k - 1,714$	$k' = 2,948$	3,112	$+ 0,164$
13	1,363		0,481	$k - 2,079$	$k' = 2,833$	2,819	$- 0,014$
14	1,085		0,4155	$k - 2,407$	$k' = 2,612$	2,555	$- 0,057$
équations finales				$8 k = 11,247$	$k' = -26,873$	écart moyen $\pm 0,047$	
				$-11,247 k + 18,539$	$k' = -35,591$	$\pm \sqrt{\frac{\sum s^2}{6}} = \pm 0,080$	
				d'où $k = 4,488$ poids 1,177 erreur moyenne $\pm 0,074$			
				$k' = 0,803$	$\gg 2,727$	$\pm 0,048$ $Q' = 0,179$	
				L'expérience statique avait donné $k = 4\mu,947$ par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40 ^s			

2° Expériences faites à Genève, le pendule étant placé directement sur le sol de la salle, et le comparateur étant enlevé.

Espace blanc	y	α	Q	Equations de condition		Valeur calculée	ε
<i>A. Par les oscillations du pendule.</i>							
18 septembre , de 7 ^h 1/2 à 10 ^h soir. $a = 2^{\text{mm}},884$ $D = 8736^{\text{mm}}$ grossissement 3029.							
NB. Ces expériences étaient entravées par la bise, qui soufflait par moments avec une certaine force; en outre, la lampe servant à éclairer le couteau et l'arc divisé, sur lequel on lit l'amplitude, était dans une position défavorable, les observations de ce soir sont, pour ces deux causes, moins sûres que celle du lendemain.							
<i>Moyenne de deux observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus éloigné du centre de gravité.</i>							
No	μ			k	k'	μ	μ
4	3,631	127,5	1,472	$k - 0,679$	$k' = 2,466$	2,429	$- 0,037$
9	3,2625	119,0	1,374	$k - 0,728$	$k' = 2,374$	2,363	$- 0,011$
10	2,5825	102,0	1,178	$k - 0,849$	$k' = 2,193$	2,198	$+ 0,005$
11	2,2665	94,0	1,0355	$k - 0,921$	$k' = 2,088$	2,100	$+ 0,012$
12	1,6035	79,75	0,921	$k - 1,086$	$k' = 1,742$	1,877	$+ 0,135$
13	1,271	70,75	0,817	$k - 1,224$	$k' = 1,556$	1,689	$+ 0,133$
14	1,012	63,0	0,7275	$k - 1,375$	$k' = 1,391$	1,484	$+ 0,093$
<i>Moyenne de trois observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus rapproché du centre de gravité.</i>							
12	1,6035	137,7	0,853	$k - 1,172$	$k' = 1,881$	1,759	$- 0,122$
13	1,271	121,3	0,752	$k - 1,330$	$k' = 1,690$	1,545	$- 0,145$
14	1,012	112,2	0,6955	$k - 1,438$	$k' = 1,455$	1,398	$- 0,057$
équations finales				$10 k - 10,802$	$k' = 18,836$	écart moyen $\pm 0,075$	
				$-10,802 k + 12,336$	$k' = -19,439$	$\pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{8}} = \pm 0,103$	
				d'où $k = 3,351$ poids 0,542	erreur moyenne $\pm 0,140$		
				$k' = 1,358$	$\gg 0,668$	$\gg \pm 0,126$	$Q' = 0,405$
L'expérience statique avait donné $k = 3\mu,296$ par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40 ^s							
19 septembre , de 7 ^h 1/2 à 10 ^h soir.							
Observations faites dans des conditions beaucoup plus favorables que celles de la veille, soit par l'absence de bise, soit par une meilleure position de la lampe servant à éclairer le couteau inférieur et l'arc divisé servant à mesurer l'amplitude. De plus, les deux espaces blancs nos 7 et 8 avaient été ajoutés sur l'échelle, ce qui augmente le nombre des données. Il a été fait, en outre, deux déterminations complètes du grossissement, l'une avant, l'autre après les expériences; la première donne $a = 2^{\text{mm}},907$, la seconde $a = 2^{\text{mm}},929$, moyenne $a = 2^{\text{mm}},918$ $D = 8736^{\text{mm}}$ grossissement 2994.							
<i>Moyenne de trois observations pour chaque espace blanc, le pendule étant suspendu par le couteau le plus éloigné du centre de gravité.</i>							
No	μ			k	k'	μ	μ
7	3,928	142,0	1,640	$k - 0,610$	$k' = 2,396$	2,401	$+ 0,005$
4	3,674	134,0	1,547	$k - 0,646$	$k' = 2,374$	2,351	$- 0,023$
9	3,301	124,67	1,440	$k - 0,695$	$k' = 2,293$	2,285	$- 0,008$
10	2,613	106,83	1,2335	$k - 0,811$	$k' = 2,118$	2,127	$+ 0,009$
11	2,2935	96,67	1,116	$k - 0,896$	$k' = 2,054$	2,011	$- 0,043$
8	1,948	89,17	1,030	$k - 0,971$	$k' = 1,892$	1,908	$+ 0,016$
12	1,623	80,0	1,924	$k - 1,082$	$k' = 1,757$	1,757	0
13	1,286	73,17	0,845	$k - 1,183$	$k' = 1,522$	1,619	$+ 0,097$
14	1,024	63,0	0,711	$k - 1,406$	$k' = 1,440$	1,315	$- 0,125$

2° Expériences faites à Genève, le pendule étant placé directement sur le sol de la salle, et le comparateur étant enlevé.

Espace blanc	y	α	Q	Equations de condition		Valeur calculée	ε
19 septembre (suite). — Moyenne de quatre observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus rapproché du centre de gravité.							
N°	μ	μ	μ	k	k'	μ	μ
12	1,623	149,75	0,928	$k - 1,078$	$k' = 1,749$	1,763	+ 0,014
13	1,286	133,0	0,824	$k - 1,214$	$k' = 1,561$	1,577	+ 0,016
14	1,024	121,0	0,750	$k - 1,333$	$k' = 1,366$	1,415	+ 0,049
équations finales				12 $k - 11,925$	$k' = 22,522$	écart moyen $\pm 0,034$	
				$-11,925 k + 12,636$	$k' = -21,311$	$\pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{10}} = \pm 0,055$	
d'où $k = 3,232$ poids 0,746				erreur moyenne $\pm 0,064$			
$k' = 1,3633$ » 0,786				» $\pm 0,062$		$Q' = 0,422$	
L'expérience statique avait donné $k = 3\mu,306$ par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40 ^s .							
B. Par l'action d'un poids alternativement abaissé et soulevé.							
15 septembre , de 7 ^h 1/2 à 10 ^h soir. $a = 2^{mm},994$ $D = 8736^{mm}$ grossissement 2918.							
Moyenne de deux observations pour chaque espace, en parcourant l'échelle dans un sens, puis dans le sens inverse.							
N°	μ	μ	μ	k	k'	μ	μ
2	5,757	2,1015		$k - 0,476$	$k' = 2,7395$	2,8125	+ 0,073
3	4,866	1,7525		$k - 0,571$	$k' = 2,777$	2,723	- 0,054
4	3,769	1,443		$k - 0,692$	$k' = 2,610$	2,608	- 0,002
5	2,715	1,133		$k - 0,883$	$k' = 2,396$	2,428	+ 0,032
11	2,353	1,0055		$k - 0,9945$	$k' = 2,340$	2,322	- 0,018
12	1,665	0,788		$k - 1,269$	$k' = 2,1135$	2,0635	- 0,050
13	1,319	0,692		$k - 1,445$	$k' = 1,9065$	1,8965	- 0,010
14	1,051	0,618		$k - 1,621$	$k' = 1,700$	1,733	+ 0,033
équations finales				8 $k - 7,9515$	$k' = 18,5825$	écart moyen $\pm 0,034$	
				$- 7,9515k + 9,1155$	$k' = -17,325$	$\pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{6}} = \pm 0,047$	
d'où $k = 3,262$ poids 1,064				erreur moyenne $\pm 0,046$			
$k' = 0,945$ » 1,212				» $\pm 0,043$		$Q' = 0,290$	
L'expérience statique avait donné $k = 3\mu,297$ par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40 ^s .							
17 septembre , de 7 ^h 1/2 à 10 ^h soir. $a = 2^{mm},790$ $D = 8736^{mm}$ grossissement 3131.							
Moyenne de deux observations pour chaque espace, en parcourant l'échelle dans un sens, puis dans le sens inverse.							
N°	μ	μ	μ	k	k'	μ	μ
2	5,366	2,072		$k - 0,488$	$k' = 2,590$	2,626	+ 0,036
3	4,536	1,763		$k - 0,567$	$k' = 2,573$	2,545	- 0,028
4	3,514	1,450		$k - 0,690$	$k' = 2,423$	2,429	+ 0,006
5	2,531	1,132		$k - 0,883$	$k' = 2,236$	2,245	+ 0,009
11	2,193	0,9965		$k - 1,0035$	$k' = 2,201$	2,131	- 0,070
12	1,552	0,8215		$k - 1,2175$	$k' = 1,890$	1,928	+ 0,038
13	1,230	0,713		$k - 1,4025$	$k' = 1,725$	1,752	+ 0,027
14	0,979	0,621		$k - 1,6105$	$k' = 1,577$	1,555	- 0,022
équations finales				8 $k - 7,857$	$k' = 17,215$	écart moyen $\pm 0,030$	
				$- 7,857 k + 8,860$	$k' = -15,822$	$\pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{6}} = \pm 0,040$	
d'où $k = 3,084$ poids 1,032				erreur moyenne $\pm 0,039$			
$k' = 0,950$ » 1,143				» $\pm 0,037$		$Q' = 0,308$.	
L'expérience statique avait donné $k = 3\mu,176$ par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40 ^s .							

3° Expériences faites à Berlin sur le pilier en mollasse surmonté de l'assise triangulaire, le comparateur étant en place.

Espace blanc	y	α	Q	Equations de condition		Valeur calculée.	ϵ
<i>A. Par les oscillations du pendule.</i>							
27 octobre 1877 , de midi à 2 ^h . $a = 3^{\text{mm}},460$ $D = 11^{\text{m}},885$ grossissement 3435.							
<i>Moyenne de six observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus éloigné du centre de gravité.</i>							
N°	μ	α	Q	k	k'	μ	μ
3	4,134	148,6	1,716	$k - 0,583$	$k' = 2,409$	2,270	$- 0,139$
7	3,424	135,9	1,569	$k - 0,637$	$k' = 2,182$	2,243	$+ 0,061$
4	3,202	126,25	1,458	$k - 0,687$	$k' = 2,197$	2,219	$+ 0,022$
9	2,877	114,25	1,319	$k - 0,758$	$k' = 2,181$	2,182	$+ 0,001$
10	2,2775	99,1	1,144	$k - 0,874$	$k' = 1,991$	2,124	$+ 0,133$
11	1,999	86,9	1,0035	$k - 0,9965$	$k' = 1,992$	2,063	$+ 0,071$
8	1,698	70,6	0,815	$k - 1,2265$	$k' = 2,083$	1,947	$- 0,136$
12	1,415	62,1	0,717	$k - 1,3945$	$k' = 1,973$	1,863	$- 0,110$
13	1,121	56,0	0,647	$k - 1,5465$	$k' = 1,733$	1,786	$+ 0,053$
14	0,893	47,9	0,553	$k - 1,614$	$k' = 1,614$	1,655	$+ 0,041$
équations finales				$10 k - 10,510$	$k' = 20,355$	écart moyen $\pm 0,077$	
				$-10,510 k + 12,658$	$k' = -20,5835$	$\pm \sqrt{\frac{\sum \epsilon^2}{8}} = \pm 0,101$	
				d'où $k = 2,563$	pois 1,274	erreur moyenne $\pm 0,089$	
				$k' = 0,502$	$\gg 1,612$	$\pm 0,080$ $Q' = 0,196$.	
L'expérience statique avait donné $k = 3\mu,371$ par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40 ^s .							
28 octobre , de 7 ^h à 10 ^h soir. $a = 3^{\text{mm}},335$ $D = 11^{\text{m}},885$ grossissement 3564.							
<i>Moyenne de quatre observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus éloigné du centre de gravité.</i>							
N°	μ	α	Q	k	k'	μ	μ
7	3,300	144,0	1,663	$k - 0,601$	$k' = 1,985$	2,000	$+ 0,015$
4	3,087	135,6	1,566	$k - 0,639$	$k' = 1,971$	1,965	$- 0,006$
9	2,773	121,4	1,402	$k - 0,713$	$k' = 1,978$	1,896	$- 0,082$
10	2,195	106,2	1,226	$k - 0,8155$	$k' = 1,790$	1,801	$+ 0,011$
11	1,927	98,7	1,140	$k - 0,8775$	$k' = 1,6905$	1,7435	$+ 0,053$
8	1,637	87,2	1,007	$k - 0,993$	$k' = 1,6255$	1,6365	$+ 0,011$
12	1,364	79,0	0,912	$k - 1,096$	$k' = 1,495$	1,540	$+ 0,045$
13	1,080	66,2	0,764	$k - 1,308$	$k' = 1,413$	1,344	$- 0,069$
14	0,860	61,0	0,704	$k - 1,420$	$k' = 1,2215$	1,2405	$+ 0,019$
équations finales				$9 k - 8,463$	$k' = 15,1695$	écart moyen $\pm 0,035$	
				$-8,463 k + 8,628$	$k' = -13,6425$	$\pm \sqrt{\frac{\sum \epsilon^2}{7}} = \pm 0,0495$	
				d'où $k = 2,558$	pois 0,700	erreur moyenne $\pm 0,059$	
				$k' = 0,928$	$\gg 0,670$	$\pm 0,060$ $Q' = 0,363$.	
L'expérience statique avait donné $k = 3\mu,255$ par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40 ^s .							

3° Expériences faites à Berlin, le pendule étant placé sur le pilier en moulasse surmonté de l'assise triangulaire, le comparateur étant en place.

Espace blanc.	γ	α	Q	Equations de condition		Valeur calculée	ϵ
29 octobre , de 11 ^h à 2 ^h . $a = 3^{\text{mm}},335$ $D = 11^{\text{m}},885$ grossissement comme la veille au soir 3564							
Moyenne de six observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus éloigné du centre de gravité.							
N°	μ			k	k'	μ	μ
7	3,300	143,1	1,652	$k - 0,605$	$k' = 1,997$	2,033	+ 0,036
4	3,087	132,1	1,525	$k - 0,6555$	$k' = 2,024$	2,002	- 0,022
9	2,773	122,3	1,412	$k - 0,708$	$k' = 1,964$	1,969	+ 0,005
10	2,195	103,4	1,194	$k - 0,8375$	$k' = 1,839$	1,888	+ 0,049
11	1,927	91,0	1,051	$k - 0,9515$	$k' = 1,834$	1,817	- 0,017
8	1,637	79,0	0,912	$k - 1,096$	$k' = 1,794$	1,727	- 0,067
12	1,364	69,7	0,805	$k - 1,2425$	$k' = 1,695$	1,636	- 0,059
13	1,080	62,0	0,716	$k - 1,397$	$k' = 1,509$	1,540	+ 0,031
14	0,860	54,25	0,626	$k - 1,596$	$k' = 1,3735$	1,4155	+ 0,042
équations finales 9 $k - 9,089$ $k' = 16,0295$						écart moyen $\pm 0,036$	
$- 9,089 k + 10,149 k' = -15,584$						$\pm \sqrt{\frac{\sum \epsilon^2}{7}} = \pm 0,047$	
d'où $k = 2,410$ poids 0,800 erreur moyenne $\pm 0,050$							
$k' = 0,623$ » 0,970 » $\pm 0,047$ $Q' = 0,259$.							
L'expérience statique avait donné $k = 3\mu,244$ par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40 ^s .							
B. Par l'action de poids alternativement abaissés et soulevés.							
27 octobre , de 7 ^h à 9 ^h 1/2 soir. $a = 3^{\text{mm}},218$ $D = 11^{\text{m}},885$ grossissement 3693							
Moyenne de deux observations pour chaque espace, faites l'une en parcourant l'échelle dans un sens, l'autre dans le sens opposé.							
N°	μ			k	k'	μ	μ
2	4,549		1,884	$k - 0,531$	$k' = 2,4145$	2,2545	- 0,160
3	3,845		1,6205	$k - 0,617$	$k' = 2,373$	2,164	- 0,209
7	3,184		1,5305	$k - 0,653$	$k' = 2,081$	2,125	+ 0,044
4	2,979		1,4185	$k - 0,705$	$k' = 2,100$	2,071	- 0,029
9	2,676		1,3615	$k - 0,7345$	$k' = 1,9655$	2,0395	+ 0,074
10	2,118		1,1855	$k - 0,8435$	$k' = 1,787$	1,925	+ 0,138
11	1,859		1,065	$k - 0,939$	$k' = 1,746$	1,824	+ 0,078
8	1,579		0,983	$k - 1,017$	$k' = 1,607$	1,741	+ 0,134
12	1,316		0,8965	$k - 1,1155$	$k' = 1,468$	1,638	+ 0,170
13	1,0425		0,734	$k - 1,3625$	$k' = 1,420$	1,377	- 0,043
14	0,830		0,629	$k - 1,590$	$k' = 1,320$	1,137	- 0,183
équations finales 11 $k - 10,108$ $k' = 20,282$						écart moyen $\pm 0,115$	
$-10,108 k + 10,3825 k' = -17,481$						$\pm \sqrt{\frac{\sum \epsilon^2}{9}} = \pm 0,143$	
d'où $k = 2,815$ poids 1,150 erreur moyenne $\pm 0,133$							
$k' = 1,0555$ » 1,094 » $\pm 0,137$ $Q' = 0,375$.							
L'expérience statique avait donné $k = 3\mu,177$ par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40 ^s .							

MOUVEMENT SIMULTANÉ

3° Expériences faites à Berlin, le pendule étant placé sur le pilier en mollasse, surmonté de l'assise triangulaire, le comparateur étant en place.

Espace blanc.	y	α	Q	Equations de condition	Valeur calculée.	ϵ
28 octobre , de 11 ^h 1/2 à 2 ^h 1/2. $a = 3^{\text{mm}},305$ $D = 11^{\text{m}},885$ grossissement 3596.						
<i>Moyenné de deux observations pour chaque espace, faites l'une en parcourant l'échelle dans un sens, l'autre dans le sens opposé.</i>						
No	μ	μ			μ	μ
2	4,672	1,977	$k - 0,506$	$k' = 2,363$	2,376	+ 0,013
3	3,931	1,687	$k - 0,593$	$k' = 2,330$	2,276	- 0,054
7	3,270	1,4825	$k - 0,6745$	$k' = 2,206$	2,183	- 0,023
4	3,059	1,403	$k - 0,713$	$k' = 2,180$	2,139	- 0,041
9	2,748	1,315	$k - 0,7605$	$k' = 2,090$	2,085	- 0,005
10	2,1755	1,1545	$k - 0,866$	$k' = 1,884$	1,964	+ 0,080
11	1,909	1,0585	$k - 0,945$	$k' = 1,804$	1,874	+ 0,070
8	1,622	0,944	$k - 1,059$	$k' = 1,718$	1,743	+ 0,025
12	1,3515	0,844	$k - 1,185$	$k' = 1,601$	1,600	- 0,001
13	1,071	0,742	$k - 1,348$	$k' = 1,443$	1,413	- 0,030
14	0,853	0,668	$k - 1,497$	$k' = 1,276$	1,243	- 0,033
équations finales 11 $k - 10,147$ $k' = 20,895$				écart moyen $\pm 0,034$		
$-10,147 k + 10,3735 k' = -18,1165$				$\pm \sqrt{\frac{\sum \epsilon^2}{9}} = \pm 0,046$		
d'où $k = 2,954$ poids 1,074 erreur moyenne $\pm 0,044$						
$k' = 1,143$ » 1,013 » $\pm 0,046$ $Q' = 0,387$.						
L'expérience statique avait donné $k = 3\mu, 257$ par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40 ^s						
29 octobre , de 7 ^h à 10 ^h soir. $a = 3^{\text{mm}},199$ $D = 11^{\text{m}},885$ grossissement 3715						
<i>Moyenné de deux observations pour chaque espace, faites l'une en parcourant l'échelle dans un sens, l'autre dans le sens opposé.</i>						
No	μ	μ			μ	μ
2	4,522	1,896	$k - 0,5275$	$k' = 2,385$	2,429	+ 0,044
3	3,8225	1,6155	$k - 0,619$	$k' = 2,366$	2,345	- 0,021
7	3,166	1,401	$k - 0,714$	$k' = 2,260$	2,256	- 0,004
4	2,961	1,320	$k - 0,7575$	$k' = 2,243$	2,215	- 0,028
9	2,6605	1,223	$k - 0,818$	$k' = 2,175$	2,159	- 0,016
10	2,106	1,0455	$k - 0,9565$	$k' = 2,014$	2,030	+ 0,016
11	1,848	0,951	$k - 1,0515$	$k' = 1,9435$	1,9415	- 0,002
8	1,570	0,8555	$k - 1,169$	$k' = 1,835$	1,832	- 0,003
12	1,308	0,7725	$k - 1,2945$	$k' = 1,6935$	1,7155	+ 0,022
13	1,036	0,681	$k - 1,468$	$k' = 1,522$	1,554	+ 0,032
14	0,825	0,595	$k - 1,681$	$k' = 1,387$	1,357	- 0,020
équations finales 11 $k - 11,0565$ $k' = 21,824$				écart moyen $\pm 0,020$		
$-11,0565 k + 12,457 k' = -20,687$				$\pm \sqrt{\frac{\sum \epsilon^2}{9}} = \pm 0,026$		
d'où $k = 2,919$ poids 1,186 erreur moyenne $\pm 0,024$.						
$k' = 0,9295$ » 1,343 » $\pm 0,022$ $Q' = 0,318$.						
L'expérience statique avait donné $k = 3\mu, 140$ par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40 ^s .						

4° Expériences faites à Genève, le pendule étant placé sur le support en bois et le comparateur étant en place.

Espace blanc.	y	α	Q	Equations de condition		Valeur calculée	ε
A. Par les oscillations du pendule.							
9 novembre 1877 , de 7 ^h 1/2 à 10 ^h soir. $a = 2^{mm},720$ $D = 8693^{mm}$, grossissement 3196.							
<i>Moyenne de trois observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus éloigné du centre de gravité.</i>							
N°	μ			$k -$	$k' =$	μ	μ
3	4,443	142,3	1,643	0,6085	2,704	2,721	+ 0,017
7	3,680	120,7	1,394	0,7175	2,640	2,645	+ 0,005
4	3,442	113,0	1,305	0,766	2,638	2,611	- 0,027
9	3,092	103,0	1,1895	0,841	2,600	2,558	- 0,042
10	2,448	89,0	1,028	0,973	2,382	2,465	+ 0,083
11	2,148	75,0	0,866	1,1185	2,403	2,363	- 0,040
8	1,825	67,0	0,774	1,247	2,276	2,273	- 0,003
12	1,521	60,3	0,696	1,4195	2,159	2,152	- 0,007
13	1,205	52,7	0,6085	1,634	1,968	2,001	+ 0,033
14	0,959	44,0	0,508	1,905	1,827	1,811	- 0,016
<i>Moyenne de quatre observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus rapproché du centre de gravité.</i>							
NB. Pour les cinq derniers espaces, observés dans les deux modes de suspension, on a formé les équations de condition, en prenant pour Q la moyenne des valeurs obtenues dans les deux positions pour le même espace et pour la même valeur de y.							
11	2,148	149,0	0,923				
8	1,825	134,0	0,830				
12	1,521	115,0	0,713				
13	1,205	99,2	0,615				
14	0,959	87,4	0,5415				
équations finales				10 k - 11,230	k' = 23,597	écart moyen $\pm 0,027$	
				-11,230 k + 14,215	k' = -25,352	$\pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{8}} = \pm 0,040$	
				d'où k = 3,149	pois 1,147	erreur moyenne $\pm 0,037$	
				k' = 0,703	» 1,634	» $\pm 0,031$	Q' = 0,223
L'expérience statique avait donné k = 3 μ ,676 par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40 ^s							
10 novembre , de 2 ^h à 4 ^h après midi. $a = 3^{mm},003$ $D = 8693^{mm}$, grossissement 2895.							
<i>Moyenne de quatre observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus éloigné du centre de gravité.</i>							
N°	μ			$k -$	$k' =$	μ	μ
7	4,062	124,25	1,435	0,697	2,831	2,852	+ 0,021
4	3,800	116,75	1,348	0,742	2,819	2,830	+ 0,011
9	3,414	106,5	1,230	0,813	2,776	2,797	+ 0,021
10	2,702	88,5	1,022	0,9785	2,644	2,718	+ 0,074
11	2,372	75,75	0,875	1,143	2,711	2,641	- 0,070
8	2,015	65,5	0,756	1,322	2,664	2,555	- 0,109
12	1,679	58,0	0,670	1,493	2,507	2,474	- 0,033
13	1,330	49,0	0,566	1,767	2,350	2,344	- 0,006
14	1,059	42,75	0,494	2,026	2,145	2,222	+ 0,077
équations finales				9 k - 10,9815	k' = 23,447	écart moyen $\pm 0,047$	
				-10,9815 k + 15,1655	k' = -27,773	$\pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{7}} = \pm 0,0655$	
				d'où k = 3,182	pois 1,048	erreur moyenne $\pm 0,064$	
				k' = 0,474	» 1,766	» $\pm 0,049$	Q' = 0,149
L'expérience statique avait donné k = 3 μ ,620 par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40 ^s							

MOUVEMENT SIMULTANÉ

4° Expériences faites à Genève, le pendule étant placé sur le support en bois et le comparateur étant en place.

Espace blanc	y	α	Q	Equations de condition		Valeur calculée	ε
11 novembre de 7h $\frac{1}{2}$ à 10h du soir. $a = 3^{mm},112$ $D = 8693^{mm}$, grossissement 2793.							
<i>Moyenne de cinq observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus éloigné du centre de gravité.</i>							
N°	μ						
7	4,210	131,2	1,515	$k - 0,660$	$k' = 2,779$	μ 2,772	μ - 0,007
4	3,938	124,8	1,441	$k - 0,694$	$k' = 2,733$	2,748	+ 0,015
9	3,538	114,7	1,324	$k - 0,755$	$k' = 2,6715$	2,7045	+ 0,033
10	2,801	95,2	1,099	$k - 0,910$	$k' = 2,548$	2,595	+ 0,047
11	2,458	84,2	0,972	$k - 1,0285$	$k' = 2,528$	2,511	- 0,017
8	2,088	72,6	0,838	$k - 1,193$	$k' = 2,491$	2,394	- 0,097
12	1,740	65,4	0,755	$k - 1,324$	$k' = 2,304$	2,301	- 0,003
13	1,378	55,8	0,644	$k - 1,552$	$k' = 2,139$	2,140	+ 0,001
14	1,098	48,8	0,5635	$k - 1,7745$	$k' = 1,948$	1,983	+ 0,035
équations finales				$9 k - 9,891$	$k' = 22,1415$	écart moyen $\pm 0,028$	
				$-9,891 k + 12,1075$	$k' = -23,464$	$\pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{7}} = \pm 0,0455$	
d'où $k = 3,239$				pois 0,914	erreur moyenne $\pm 0,048$		
				$k' = 0,708$	$\pm 0,041$	$Q' = 0,219$	
L'expérience statique avait donné $k = 3\mu,708$ par l'action d'un poids de 1 ^{kilg} suspendu pendant 40 ^s .							
B. Par l'action de poids alternativement soulevés et abaissés.							
8 novembre , de 2h à 4h après midi. $a = 2^{mm},895$ $D = 8693^{mm}$ grossissement 3002							
<i>Moyenne de deux observations pour chaque espace, faites en parcourant l'échelle en sens opposé.</i>							
N	μ						
2	5,596		1,9025	$k - 0,526$	$k' = 2,942$	μ 2,982	μ + 0,040
3	4,730		1,605	$k - 0,623$	$k' = 2,947$	2,929	- 0,018
7	3,917		1,3935	$k - 0,718$	$k' = 2,811$	2,877	+ 0,066
4	3,664		1,2945	$k - 0,7725$	$k' = 2,830$	2,848	+ 0,018
9	3,292		1,172	$k - 0,853$	$k' = 2,809$	2,804	- 0,005
10	2,606		0,952	$k - 1,0505$	$k' = 2,737$	2,697	- 0,040
11	2,287		0,8535	$k - 1,172$	$k' = 2,6795$	2,6305	- 0,049
8	1,943		0,752	$k - 1,330$	$k' = 2,5835$	2,5445	- 0,039
12	1,619		0,648	$k - 1,543$	$k' = 2,498$	2,428	- 0,070
13	1,282		0,5665	$k - 1,765$	$k' = 2,264$	2,307	+ 0,043
14	1,021		0,4875	$k - 2,051$	$k' = 2,095$	2,152	+ 0,057
équations finales				$11 k - 12,404$	$k' = 29,196$	écart moyen $\pm 0,040$	
				$-12,404 k + 16,4535$	$k' = -31,580$	$\pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{9}} = \pm 0,0495$	
d'où $k = 3,268$				pois 1,649	erreur moyenne $\pm 0,038$		
				$k' = 0,544$	$\pm 0,031$	$Q' = 0,1665$	
L'expérience statique avait donné $k = 3\mu,681$ par l'action d'un poids de 1 ^{kilg} suspendu pendant 40 ^s .							

D'UN PENDULE ET DE SES SUPPORTS.

4° Expériences faites à Genève, le pendule étant placé sur le support en bois et le comparateur étant en place.

Espace blanc	y	α	Q	Equations de condition		Valeur calculée	ϵ
<p>8 novembre, de 8^h à 10^h soir. $a = 2^{mm},949$ $D = 8693^{mm}$ grossissement 2947.</p> <p>Moyenne de deux observations pour chaque espace, faites en parcourant l'échelle en sens opposé.</p>							
N°	μ			$k -$	$k' =$	μ	μ
2	5,700		1,8975	$k - 0,527$	$k' = 3,004$	2,995	$- 0,009$
3	4,818		1,614	$k - 0,620$	$k' = 2,985$	2,939	$- 0,046$
7	3,990		1,3865	$k - 0,721$	$k' = 2,878$	2,877	$- 0,001$
4	3,732		1,3035	$k - 0,767$	$k' = 2,863$	2,849	$- 0,014$
9	3,353		1,2085	$k - 0,8275$	$k' = 2,775$	2,812	$+ 0,037$
10	2,654		0,988	$k - 1,012$	$k' = 2,6865$	2,6995	$+ 0,013$
11	2,3295		0,890	$k - 1,1235$	$k' = 2,6175$	2,6315	$+ 0,014$
8	1,979		0,7855	$k - 1,273$	$k' = 2,5195$	2,5405	$+ 0,021$
12	1,649		0,6825	$k - 1,465$	$k' = 2,416$	2,424	$+ 0,008$
13	1,306		0,5815	$k - 1,720$	$k' = 2,2465$	2,269	$+ 0,022$
14	1,040		0,4905	$k - 2,039$	$k' = 2,121$	2,075	$- 0,046$
équations finales				11 $k - 12,095$	$k' = 29,112$	écart moyen $\pm 0,021$	
				$-12,095$	$k + 15,6235$	$k' = -30,595$	$\pm \sqrt{\frac{\sum \epsilon^2}{9}} = \pm 0,028$
				d'où $k = 3,316$	pois 1,640	erreur moyenne $\pm 0,022$	
				$k' = 0,609$	» 2,320	» $\pm 0,019$	$Q' = 0,184.$
L'expérience statique avait donné $k = 3^{\mu},693$ par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40 ^s .							
<p>9 novembre, de 2^h à 4^h après midi. $a = 2^{mm},814$ $D = 8693^{mm}$ grossissement 3089.</p> <p>Moyenne de deux observations pour chaque espace, faites en parcourant l'échelle en sens opposé.</p>							
N°	μ			$k -$	$k' =$	μ	μ
2	5,439		1,8375	$k - 0,544$	$k' = 2,960$	2,941	$- 0,019$
3	4,5975		1,5595	$k - 0,641$	$k' = 2,948$	2,896	$- 0,052$
7	3,8075		1,345	$k - 0,7435$	$k' = 2,831$	2,849	$+ 0,018$
4	3,561		1,254	$k - 0,7975$	$k' = 2,840$	2,824	$- 0,016$
9	3,200		1,152	$k - 0,868$	$k' = 2,778$	2,792	$+ 0,014$
10	2,533		0,9395	$k - 1,0645$	$k' = 2,696$	2,701	$+ 0,005$
11	2,223		0,8485	$k - 1,1785$	$k' = 2,620$	2,648	$+ 0,028$
8	1,8885		0,751	$k - 1,3315$	$k' = 2,515$	2,578	$+ 0,063$
12	1,5735		0,6385	$k - 1,566$	$k' = 2,464$	2,470	$+ 0,006$
13	1,2465		0,531	$k - 1,883$	$k' = 2,3475$	2,3235	$- 0,024$
14	0,993		0,452	$k - 2,2125$	$k' = 2,196$	2,172	$- 0,024$
équations finales				11 $k - 12,830$	$k' = 29,1955$	écart moyen $\pm 0,025$	
				$-12,830$	$k + 17,8395$	$k' = -32,727$	$\pm \sqrt{\frac{\sum \epsilon^2}{9}} = \pm 0,033$
				d'où $k = 3,192$	pois 1,773	erreur moyenne $\pm 0,025$	
				$k' = 0,461$	» 2,875	» $\pm 0,019$	$Q' = 0,1445$
L'expérience statique avait donné $k = 3^{\mu},628$ par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40 ^s .							

5° Expériences faites à Genève, le pendule étant posé sur le grand pilier en mollasse, le comparateur étant en place.

Espace blanc	y	α	Q	Equations de condition		Valeur calculée	ε
A. Par les oscillations du pendule.							
13 novembre , de 7 ^h 1/2 à 10 ^h soir. $a = 2^{\text{mm}},714$ $D = 8723^{\text{mm}}$ grossissement 3214.							
<i>Moyenne de cinq observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus éloigné du centre de gravité.</i>							
No	μ			k	k'	μ	μ
9	3,075	130,2	1,5035	$k - 0,665$	$k' = 2,0455$	2,0345	- 0,011
10	2,434	107,4	1,240	$k - 0,8065$	$k' = 1,963$	1,975	+ 0,012
11	2,1365	96,4	1,113	$k - 0,838$	$k' = 1,9195$	1,9365	+ 0,017
8	1,815	82,8	0,956	$k - 1,046$	$k' = 1,8985$	1,8745	- 0,024
12	1,512	72,6	0,838	$k - 1,193$	$k' = 1,804$	1,812	+ 0,008
13	1,198	60,6	0,700	$k - 1,429$	$k' = 1,712$	1,713	+ 0,001
14	0,954	51,4	0,5935	$k - 1,685$	$k' = 1,6075$	1,6055	- 0,002
équations finales				$7 k - 7,7225$	$k' = 12,950$	écart moyen $\pm 0,011$	
				$- 7,7225 k + 9,297$	$k' = -13,9595$	$\pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{5}} = \pm 0,0155$	
				d'où $k = 2,314$	pois 0,585	erreur moyenne $\pm 0,020$	
				$k' = 0,4205$	» 0,777	» $\pm 0,017$	$Q' = 0,182$
L'expérience statique avait donné $k = 2\mu,664$ par l'action d'un poids de 1^{kg} suspendu pendant 40 ^s .							
14 novembre , de 8 ^h à 10 ^h soir. $a = 2^{\text{mm}},982$ $D = 8723^{\text{mm}}$ grossissement 2925.							
<i>Moyenne de cinq observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus éloigné du centre de gravité.</i>							
No	μ			k	k'	μ	μ
9	3,379	134,6	1,554	$k - 0,643$	$k' = 2,174$	2,117	- 0,057
10	2,6745	113,7	1,313	$k - 0,762$	$k' = 2,037$	2,067	+ 0,030
11	2,347	101,2	1,169	$k - 0,856$	$k' = 2,009$	2,027	+ 0,018
8	1,994	89,0	1,028	$k - 0,973$	$k' = 1,9405$	1,9775	+ 0,037
12	1,662	75,6	0,873	$k - 1,1455$	$k' = 1,903$	1,905	+ 0,002
13	1,316	62,2	0,718	$k - 1,392$	$k' = 1,833$	1,800	- 0,033
14	1,048	53,4	0,617	$k - 1,622$	$k' = 1,700$	1,703	+ 0,003
équations finales				$7 k - 7,3935$	$k' = 13,5965$	écart moyen $\pm 0,026$	
				$- 7,3935 k + 8,553$	$k' = -14,046$	$\pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{5}} = \pm 0,037$	
				d'où $k = 2,389$	pois 0,609	erreur moyenne $\pm 0,047$	
				$k' = 0,423$	» 0,744	» $\pm 0,043$	$Q' = 0,177$
L'expérience statique avait donné $k = 2\mu,796$, par l'action d'un poids de 1^{kg} suspendu pendant 40 ^s .							

D'UN PENDULE ET DE SES SUPPORTS.

5° Expériences faites à Genève, le pendule étant posé sur le grand pilier en mollasse, et le comparateur étant en place.

Espace blanc	y	α	Q	Equations de condition		Valeur calculée	ε
<p>15 novembre, de 7^h 1/2 à 10^h soir. $a = 3^{mm},060$ $D = 8723^{mm}$ grossissement 2851.</p> <p>Moyenne de cinq observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus éloigné du centre de gravité.</p>							
N°	μ	μ	μ	k	k'	μ	μ
9	3,466	136,2	1,573	k - 0,636	k' = 2,204	2,219	+ 0,015
10	2,744	111,6	1,289	k - 0,776	k' = 2,129	2,153	+ 0,024
11	2,408	98,6	1,139	k - 0,878	k' = 2,115	2,105	- 0,010
8	2,046	85,6	0,988	k - 1,0115	k' = 2,070	2,041	- 0,029
12	1,705	74,0	0,8545	k - 1,170	k' = 1,995	1,966	- 0,029
13	1,350	62,8	0,725	k - 1,379	k' = 1,862	1,868	+ 0,006
14	1,075	53,7	0,620	k - 1,613	k' = 1,734	1,757	+ 0,027
équations finales				7 k - 7,4635	k' = 14,109	écart moyen $\pm 0,019$	
				- 7,4635 k + 8,6725	k' = -14,7045	$\pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{5}} = \pm 0,025$	
d'où k = 2,520				pois 0,577	erreur moyenne $\pm 0,033$		
k' = 0,473				» 0,715	» $\pm 0,030$	Q' = 0,188.	
L'expérience statique avait donné k = 2 μ ,834 par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40 ^s .							
<p>B. Par l'action de poids alternativement soulevés et abaissés.</p> <p>12 novembre, de 2^h à 4^h après midi. $a = 2^{mm},970$ $D = 8723^{mm}$ grossissement 2937.</p> <p>Moyenne de deux observations pour chaque espace, faites en parcourant l'échelle en sens opposé.</p>							
N°	μ	μ	μ	k	k'	μ	μ
7	4,005	1,776	1,776	k - 0,563	k' = 2,255	2,265	+ 0,010
4	3,746	1,657	1,657	k - 0,6035	k' = 2,2605	2,2525	- 0,008
9	3,365	1,500	1,500	k - 0,667	k' = 2,244	2,233	- 0,011
10	2,664	1,221	1,221	k - 0,819	k' = 2,182	2,186	+ 0,004
11	2,338	1,0795	1,0795	k - 0,926	k' = 2,166	2,153	- 0,013
8	1,986	0,9455	0,9455	k - 1,0575	k' = 2,101	2,113	+ 0,012
12	1,655	0,8045	0,8045	k - 1,243	k' = 2,057	2,056	- 0,001
13	1,311	0,6725	0,6725	k - 1,487	k' = 1,9495	1,9815	+ 0,032
14	1,044	0,5485	0,5485	k - 1,823	k' = 1,9035	1,8785	- 0,025
équations finales				9 k - 9,189	k' = 19,1185	écart moyen $\pm 0,013$	
				- 9,189 k + 10,8535	k' = -19,070	$\pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{7}} = \pm 0,018$	
d'où k = 2,437				pois 1,220	erreur moyenne $\pm 0,016$		
k' = 0,3063				» 1,471	» $\pm 0,015$	Q' = 0,126	
L'expérience statique avait donné k = 2 μ ,761 par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40 ^s .							

MOUVEMENT SIMULTANÉ

5° Expériences faites à Genève, le pendule étant posé sur le grand pilier en mollassse, et le comparateur étant en place.

Espace blanc	y	α	Q	Equations de condition		Valeur calculée.	ε
13 novembre , de 2 ^h à 4 ^h après midi. $a = 2^{\text{mm}},695$ $D = 8723^{\text{mm}}$ grossissement 3236.							
Moyenne de deux observations pour chaque espace, faites en parcourant l'échelle en sens opposé.							
N°	μ	μ				μ	μ
3	4,388	1,9255	k - 0,519	k' = 2,279	2,295	+ 0,016	
7	3,634	1,6205	k - 0,617	k' = 2,242	2,264	+ 0,022	
4	3,399	1,5025	k - 0,6655	k' = 2,262	2,248	- 0,014	
9	3,054	1,374	k - 0,728	k' = 2,2225	2,2285	+ 0,006	
10	2,417	1,103	k - 0,9065	k' = 2,1915	2,1715	- 0,020	
11	2,1215	0,9845	k - 1,016	k' = 2,155	2,136	- 0,019	
8	1,802	0,862	k - 1,160	k' = 2,091	2,090	- 0,001	
12	1,502	0,732	k - 1,366	k' = 2,0515	2,0245	- 0,027	
13	1,190	0,625	k - 1,600	k' = 1,903	1,950	+ 0,047	
14	0,947	0,514	k - 1,9455	k' = 1,843	1,839	- 0,004	
équations finales 10 k - 10,5235				k' = 21,2405		écart moyen $\pm 0,018$	
- 10,5235k				+ 13,035 k' = - 21,726		$\pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{8}} = \pm 0,024$	
d'où k = 2,461				poids 1,504		erreur moyenne $\pm 0,020$	
k' = 0,3195				» 1,960		» $\pm 0,017$ Q' = 0,130	
L'expérience statique avait donné k = 2 μ ,683 par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40°.							
15 novembre , de 2 ^h à 4 ^h après midi. $a = 3^{\text{mm}},061$ $D = 8723^{\text{mm}}$ grossissement 2849.							
Moyenne de deux observations pour chaque espace, faites en parcourant l'échelle en sens opposé.							
N°	μ	μ				μ	μ
7	4,078	1,7075	k - 0,586	k' = 2,388	2,391	+ 0,003	
4	3,814	1,5805	k - 0,633	k' = 2,413	2,374	- 0,039	
9	3,427	1,4525	k - 0,6885	k' = 2,359	2,355	- 0,004	
10	2,713	1,1805	k - 0,847	k' = 2,298	2,299	+ 0,001	
11	2,381	1,0525	k - 0,950	k' = 2,262	2,263	+ 0,001	
8	2,023	0,9225	k - 1,084	k' = 2,193	2,216	+ 0,023	
12	1,685	0,797	k - 1,255	k' = 2,1155	2,156	+ 0,040	
13	1,335	0,660	k - 1,515	k' = 2,023	2,064	+ 0,041	
14	1,062	0,533	k - 1,876	k' = 1,995	1,937	- 0,058	
équations finales 9 k - 9,4345				k' = 20,0465		écart moyen $\pm 0,023$	
- 9,4345 k				+ 11,403 k' = - 20,4825		$\pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{7}} = \pm 0,035$	
d'où k = 2,597				poids 1,195		erreur moyenne $\pm 0,032$	
k' = 0,3517				» 1,513		» $\pm 0,029$ Q' = 0,135.	
L'expérience statique avait donné k = 2 μ ,844 par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40°.							

6° Expériences faites à Genève, le pendule étant posé sur le grand pilier en mollasse, et le comparateur étant enlevé.

Espace blanc	y	α	Q	Equations de condition		Valeur calculée	ε
<i>A. Par les oscillations du pendule.</i>							
<p>16 novembre, de 8^h à 10^h soir. Première détermination de a, faite avant les expériences, 3^{mm},121 Deuxième détermination faite après, 3^{mm},129. Moyenne $a = 3^{\text{mm}},125$ $D = 8723^{\text{mm}}$ grossissement 2791.</p> <p><i>Moyenne de cinq observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus éloigné du centre de gravité.</i></p>							
N°	μ	μ	μ	k	k'	μ	μ
7	4,213	130,8	1,510	$k = 0,662$	$k' = 2,789$	2,818	+ 0,029
4	3,941	121,6	1,404	$k = 0,712$	$k' = 2,806$	2,789	- 0,017
9	3,5405	111,6	1,289	$k = 0,776$	$k' = 2,7475$	2,7515	+ 0,004
10	2,8025	92,4	1,067	$k = 0,937$	$k' = 2,627$	2,658	+ 0,031
11	2,460	82,4	0,9515	$k = 1,051$	$k' = 2,585$	2,591	+ 0,006
8	2,090	71,4	0,8245	$k = 1,213$	$k' = 2,534$	2,497	- 0,037
12	1,741	61,4	0,709	$k = 1,4105$	$k' = 2,456$	2,382	- 0,074
13	1,379	53,0	0,612	$k = 1,634$	$k' = 2,2535$	2,2515	- 0,002
14	1,098	46,2	0,5335	$k = 1,8745$	$k' = 2,059$	2,111	+ 0,052
équations finales				$9 k = -10,270$	$k' = 22,858$	écart moyen $\pm 0,028$	
				$-10,270 k + 13,174$	$k' = -25,236$	$\pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{7}} = \pm 0,041$	
d'où $k = 3,204$ poids 0,994				erreur moyenne $\pm 0,041$			
$k' = 0,583$ » 1,455				» $\pm 0,034$		$Q' = 0,182$	
L'expérience statique avait donné $k = 3,432$ par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40°							
<p>17 novembre, de 8^h à 10^h soir. Première détermination de a, faite avant les expériences, 3^{mm},066 Deuxième détermination faite après, 3^{mm},030. Moyenne $a = 3^{\text{mm}},048$ $D = 8723^{\text{mm}}$ grossissement 2862</p> <p><i>Moyenne de cinq observations pour chaque espace, le pendule étant suspendu par le couteau le plus éloigné du centre de gravité.</i></p>							
N°	μ	μ	μ	k	k'	μ	μ
7	4,109	130,6	1,508	$k = 0,663$	$k' = 2,725$	2,778	+ 0,053
4	3,843	120,4	1,390	$k = 0,719$	$k' = 2,764$	2,747	- 0,017
9	3,453	110,4	1,275	$k = 0,7845$	$k' = 2,709$	2,712	+ 0,003
10	2,733	90,4	1,044	$k = 0,958$	$k' = 2,618$	2,617	- 0,001
11	2,399	81,4	0,940	$k = 1,064$	$k' = 2,552$	2,559	+ 0,007
8	2,038	70,6	0,815	$k = 1,227$	$k' = 2,500$	2,470	- 0,030
12	1,698	60,6	0,700	$k = 1,429$	$k' = 2,427$	2,360	- 0,067
13	1,345	51,6	0,596	$k = 1,678$	$k' = 2,258$	2,224	- 0,034
14	1,071	45,8	0,529	$k = 1,891$	$k' = 2,0255$	2,1075	+ 0,082
équations finales				$9 k = -10,4135$	$k' = 22,5785$	écart moyen $\pm 0,033$	
				$-10,4135 k + 13,5615$	$k' = -25,297$	$\pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{7}} = 0,0485$	
d'où $k = 3,140$ poids 1,004				erreur moyenne $\pm 0,048$			
$k' = 0,546$ » 1,513				» $\pm 0,039$		$Q' = 0,174$.	
L'expérience statique avait donné $k = 3,481$ par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40°.							

6° Expériences faites à Genève, le pendule étant posé sur le grand pilier en mollasse, le comparateur étant enlevé.

Espace blanc	y	α	Q	Equations de condition		Valeur calculée	ϵ
<i>B. Par l'action de poids alternativement soulevés et abaissés.</i>							
16 novembre , de 2 ^h à 4 ^h après midi. Première détermination de a , faite avant les expériences, 3 ^{mm} ,192 Deuxième détermination faite après, 3 ^{mm} ,238. Moyenne $a=3^{\text{mm}},215$ $D=8723^{\text{mm}}$, grossissement 2713							
Moyenne de deux observations pour chaque espace, faites en parcourant l'échelle en sens opposé							
N°	μ			$k - 0,595$	$k' = 3,114$	μ	μ
3	5,234		1,6805			3,081	- 0,033
7	4,334		1,4235	$k - 0,7025$	$k' = 3,045$	3,058	+ 0,013
4	4,054		1,320	$k - 0,7575$	$k' = 3,071$	3,047	- 0,024
9	3,643		1,2005	$k - 0,833$	$k' = 3,034$	3,032	- 0,002
10	2,883		0,9725	$k - 1,028$	$k' = 2,965$	2,991	+ 0,026
11	2,531		0,856	$k - 1,168$	$k' = 2,956$	2,963	+ 0,007
8	2,150		0,7375	$k - 1,356$	$k' = 2,915$	2,924	+ 0,009
12	1,791		0,620	$k - 1,613$	$k' = 2,889$	2,871	- 0,018
13	1,419		0,5185	$k - 1,9285$	$k' = 2,737$	2,806	+ 0,069
14	1,130		0,4105	$k - 2,436$	$k' = 2,753$	2,702	- 0,051
équations finales 10 $k - 12,4175$ $k' = 29,479$				écart moyen $\pm 0,025$			
$-12,4175k + 18,632$ $k' = -35,945$				$\pm \sqrt{\frac{\sum \epsilon^2}{8}} = \pm 0,036$			
d'où $k = 3,203$ poids 1,725 erreur moyenne $\pm 0,027$							
$k' = 0,206$ » 3,213 » $\pm 0,020$ $Q' = 0,064$							
L'expérience statique avait donné $k = 3\mu,445$ par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40°.							
17 novembre , de 2 ^h à 4 ^h après midi. Première détermination de a , faite avant les expériences, 3 ^{mm} ,144 Deuxième détermination faite après, 3 ^{mm} ,163. Moyenne $a=3^{\text{mm}},1535$ $D=8723^{\text{mm}}$ grossissement 2766							
Moyenne de deux observations pour chaque espace, faites en parcourant l'échelle en sens opposé.							
N°	μ			$k - 0,604$	$k' = 3,099$	μ	μ
3	5,1335		1,6565			3,146	+ 0,047
7	4,251		1,3905	$k - 0,719$	$k' = 3,057$	3,104	+ 0,047
4	3,9765		1,283	$k - 0,779$	$k' = 3,099$	3,082	- 0,017
9	3,573		1,157	$k - 0,864$	$k' = 3,088$	3,050	- 0,038
10	2,828		0,9335	$k - 1,071$	$k' = 3,030$	2,974	- 0,056
11	2,482		0,8375	$k - 1,194$	$k' = 2,964$	2,929	- 0,035
8	2,109		0,7345	$k - 1,3615$	$k' = 2,871$	2,867	- 0,004
12	1,757		0,632	$k - 1,582$	$k' = 2,780$	2,786	+ 0,006
13	1,392		0,5335	$k - 1,8745$	$k' = 2,609$	2,678	+ 0,069
14	1,108		0,436	$k - 2,2935$	$k' = 2,542$	2,524	- 0,018
équations finales 10 $k - 12,3425$ $k' = 29,139$				écart moyen $\pm 0,034$			
$-12,3425k + 17,941$ $k' = -34,9675$				$\pm \sqrt{\frac{\sum \epsilon^2}{8}} = \pm 0,044$			
d'où $k = 3,369$ poids 1,509 erreur moyenne $\pm 0,036$							
$k' = 0,369$ » 2,707 » $\pm 0,027$ $Q' = 0,110$							
L'expérience statique avait donné $k = 3\mu,546$ par l'action d'un poids de 1 ^{kg} suspendu pendant 40°.							

Ces tableaux peuvent être résumés de la manière suivante, en réunissant dans un même groupe les expériences faites par le même mode d'expérimentation, le pendule étant installé de la même manière et suivant que le comparateur était en place, ou non. Dans chaque groupe on a pris la moyenne arithmétique de la valeur de k obtenue pour les différents jours d'observation, et non la valeur probable, qui serait résultée de l'application du poids déduit de l'erreur moyenne correspondant à chaque valeur individuelle. L'on peut voir, en effet, que les valeurs de k diffèrent d'un jour à l'autre de quantités qui dépassent les limites de l'erreur moyenne déduite de l'accord entre elles des observations faites le même jour; ces limites ne représentent donc pas l'incertitude réelle dont chaque valeur peut être affectée, et il est facile d'en indiquer les raisons. Il se présente d'abord l'incertitude sur le grossissement, qui peut introduire d'un jour à l'autre des différences ne se retrouvant pas dans les observations de la même série; une erreur d'un petit nombre de centièmes de millimètre sur la détermination de la longueur du bras de levier a peut produire une erreur d'un centième dans la valeur du grossissement. Dans les dernières séries d'observations, dans lesquelles j'avais fait une détermination complète du grossissement avant et après les expériences, j'ai trouvé dans la valeur de a des différences s'élevant à $0^{\text{mm}},036$ et même $0^{\text{mm}},046$; il est très-possible que dans un appareil aussi délicat, la longueur du bras de levier ne reste pas absolument constante pendant toute la durée d'une série d'expériences, et que la détermination du grossissement faite avant, ou après, ou même la moyenne, lorsqu'il en a été fait deux, laisse une petite incertitude affectant dans le même sens les observations du même jour.

Il peut également y avoir une variation physiologique plus considérable d'un jour à l'autre, que pour les observations du même soir, dans l'appréciation de la position du fil relativement à la limite de l'espace blanc et de l'intervalle noir, aux deux extrémités de l'excursion apparente de l'échelle. Le fil soustend dans la lunette un angle de 6 à 7 secondes, tandis que chaque millimètre, à Genève, soustendait un angle de 24

secondes environ, et moins encore à Berlin, l'épaisseur du fil couvrant ainsi un quart à un tiers de millimètre; il est plus difficile de conserver d'un soir à l'autre, que dans des observations consécutives, la même appréciation du moment auquel le milieu du fil se trouve sur la limite d'un espace blanc, ou de celui auquel le fil est tangent à la limite, ainsi qu'il m'arrivait le plus souvent de l'observer.

L'incertitude réelle d'une série d'expériences ne pouvant pas, pour cette raison, être complètement représentée par l'erreur moyenne déduite de l'accord des observations entre elles, j'ai pris la moyenne arithmétique, sauf dans deux cas, pour lesquels il existait des motifs *à priori* pour attribuer aux observations une exactitude moindre. L'un de ces cas est relatif aux observations du 6 septembre, le premier jour où je faisais ces expériences, dont je n'avais pas encore l'habitude, et avec un grossissement notablement plus faible que celui des autres jours; l'erreur moyenne de k pour ce jour était le double de celle pour les deux autres jours, il lui a été attribué dans la moyenne un poids quatre fois moindre. Le second cas est celui des observations du 18 septembre, faites dans des conditions très-défavorables ainsi que cela est mentionné; il a été également attribué aux observations de ce jour un poids égal au quart de celui du lendemain, l'erreur moyenne étant un peu plus du double.

1° Expériences faites à Genève, le pendule étant placé sur le support en bois, et le comparateur étant enlevé.

A. Par les oscillations du pendule.

6 septembre	$k = 4,612$	erreur moyenne $\pm 0,127$	$Q' = 0,231$	Expér. statique $k = 5,139$
7 »	4,580	» 0,062	0,215	» 5,082
8 »	4,209	» 0,065	0,226	» 4,896
Moyenne prob. $k = 4,419$				moyenne $k = 5,039$
Erreur moyenne $\pm 0,133$				erreur moyenne $k \pm 0,073$

B. Par l'action de poids alternativement soulevés et abaissés.

12 septembre	$k = 4,570$	erreur moyenne $\pm 0,123$	$Q' = 0,239$	expér. statique $k = 4,910$
13 »	4,488	» 0,074	0,179	» 4,947
Moyenne arith. $k = 4,529$				moyenne $k = 4,928$
Erreur moyenne $\pm 0,041$				erreur moyenne $k \pm 0,018$

4^o Expériences faites à Genève, le pendule étant placé sur le support en bois, et le comparateur étant en place.

A. Par les oscillations du pendule.

9 novembre	$k = 3,149$	erreur moyenne $\pm 0,037$	$Q' = 0,223$	expér. statique	$k = 3,676$
10 »	3,182	» 0,064	0,149	»	3,620
11 »	3,239	» 0,048	0,219	»	3,708
Moyenne arith.	$k = 3,190$			moyenne	$k = 3,668$
Erreur moyenne	$\pm 0,026$			erreur moyenne	$\pm 0,026$

B. Par l'action de poids alternativement soulevés et abaissés.

8 novembre	$k = 3,268$	erreur moyenne $\pm 0,038$	$Q' = 0,1665$	expér. statique	$k = 3,681$
8 »	3,316	» 0,022	0,184	»	3,693
9 »	3,192	» 0,025	0,1445	»	3,628
Moyenne arith.	$k = 3,259$			moyenne	$k = 3,667$
Erreur moyenne	$\pm 0,036$			erreur moyenne	$\pm 0,020$

Les observations des trois premiers jours, du 6, 7 et 8 septembre, s'accordent beaucoup moins bien entre elles que les suivantes, lorsque j'étais plus familiarisé avec ce genre d'expériences; néanmoins la différence du résultat obtenu avec un mode d'expérimentation différent est mise en évidence, bien qu'elle reste en dedans des limites de l'erreur. Le comparateur étant enlevé, la valeur de k , obtenue directement par les oscillations du pendule, est 0,976 de celle obtenue par l'autre mode d'expérimentation, tandis que si l'on compare les valeurs obtenues dans les deux modes d'expérimentation, le comparateur étant en place, leur rapport est 0,979. Dans le dernier cas, la différence entre les valeurs de k dépasse très-sensiblement les limites des erreurs; le second mode d'expérimentation, celui par les poids, donne ainsi une valeur de k légèrement supérieure à celle donnée directement par les oscillations du pendule. Les valeurs de k obtenues pour les différents jours par l'expérience statique ne doivent naturellement pas donner des différences analogues, puisque le procédé est le même; les deux moyennes sont presque identiques pour la seconde série d'observations faites au mois de novembre, tandis que, dans les observations du mois de septembre, la valeur de k obtenue par l'expérience statique est moindre le 12 et le 13,

que du 6 au 8, donc le contraire de ce qui a eu lieu pour les deux modes d'expérimentation employés ces différents jours. L'on a ainsi une confirmation d'une augmentation dans la valeur de k déduite du second mode d'expérimentation. L'expérience statique donne du reste une valeur sensiblement supérieure à celle obtenue dans les deux modes d'expérimentation, et cela dans le rapport de 1 : 0,90 pour les observations faites à Genève au mois de septembre, le comparateur étant enlevé, et dans le rapport très-peu différent de 1 : 0,88 au mois de novembre, le comparateur étant en place.

Il reste enfin à déterminer l'influence que peut avoir la présence du comparateur sur le mouvement du support, par la comparaison des résultats obtenus au mois de septembre et au mois de novembre avec le même mode d'expérimentation. D'après les oscillations mêmes du pendule, la valeur de k est augmentée par l'enlèvement du comparateur dans le rapport de 4^u,419, à 3^u,190, soit de 1 : 0,72; par l'action de poids alternativement soulevés et abaissés, dans le rapport de 4^u,529 à 3^u,259, soit également de 1 : 0,72; enfin, dans l'expérience statique, dans le rapport de 4^u,983 à 3^u,6675, soit de 1 : 0,73.

L'influence du comparateur, dont le poids est de 3kg,285, est ainsi très-considérable; lorsqu'il est en place, le mouvement du plan de suspension est notablement diminué, et la valeur de k , qui doit être employée dans la réduction des observations du pendule, est celle qui a été obtenue, le comparateur étant en place.

2° *Expériences faites à Genève, le pendule étant placé directement sur le sol de la salle, et le comparateur étant enlevé.*

A. Par les oscillations du pendule.

18 septembre	$k = 3,351$	erreur moyenne $\pm 0,140$	$Q' = 0,405$	expér. statique $k = 3,296$
19 »	$= 3,232$	» $0,064$	$0,422$	» $3,306$
Moyenne probable k	$= 3,256$		moyenne arithmétique	$k = 3,301$
Erreur moyenne	$\pm 0,0475$		erreur moyenne	$\pm 0,005$

B. Par l'action de poids alternativement abaissés et soulevés.

15 septembre	$k = 3,262$	erreur moyenne $\pm 0,046$	$Q' = 0,290$	expér. statique $k = 3,297$
17 »	$= 3,084$	» $0,039$	$0,308$	» $3,176$
Moyenne arith.	$k = 3,173$		moyenne arithmétique	$k = 3,237$
Erreur moyenne	$\pm 0,089$		erreur moyenne	$\pm 0,060$

La raison pour laquelle il n'a été attribué aux observations du 18 septembre qu'un poids égal au quart de celui des observations du lendemain a été déjà indiquée; la valeur de k obtenue par les oscillations du pendule, d'après la moyenne probable des deux jours, est un peu plus forte, la différence étant toutefois en dedans de la limite des erreurs, que par l'autre mode d'expérimentation. C'est le seul cas qui donne une différence dans ce sens, et il serait difficile d'en assigner la raison; peut-être faut-il l'attribuer à la valeur exceptionnellement forte de Q' pour ces deux jours. Le contre-poids du miroir avait été placé de façon à ce que la lunette appuyât sur la pointe avec une force notablement supérieure à celle pour les autres jours, et cette circonstance a pu agir d'une manière défavorable sur le résultat des expériences. La valeur de k déduite de la moyenne des deux modes d'expérimentation, le trépied du pendule étant posé directement sur le sol de la salle, et le comparateur étant enlevé, est $3^{\mu},214$, tandis que l'on trouve $4^{\mu},474$ le pendule étant placé sur le support en bois; le mouvement communiqué à ce support par les oscillations du pendule augmente ainsi le mouvement du plan de suspension dans le rapport de $1 : 0,72$, lorsque le comparateur est enlevé. Il n'a pas été fait d'expériences, le pendule étant placé directement sur le sol de la salle, et le comparateur étant en place. L'expérience statique donne une valeur plus forte que celle obtenue dans les deux autres modes d'expérimentation dans le rapport de $1 : 0,98$; ce rapport se rapproche beaucoup plus de l'unité que dans les autres expériences.

5° *Expériences faites à Genève, le pendule étant placé sur le grand pilier en mollasse, et le comparateur étant en place.*

A. Par les oscillations du pendule.

13 novembre	$k = 2,314$	erreur moyenne $\pm 0,020$	$Q' = 0,182$	expér. statique	$k = 2,664$
14 »	2,389	» 0,047	0,177	»	2,796
15 »	2,520	» 0,033	0,188	»	2,834
Moyenne arithm.	$k = 2,408$		moyenne arithmétique	$k = 2,765$	
Erreur moyenne	$\pm 0,060$		erreur moyenne	$\pm 0,0515$	

MOUVEMENT SIMULTANÉ

B. Par l'action de poids alternativement abaissés et soulevés.

12 novembre	$k = 2,437$	erreur moyenne $\pm 0,016$	$Q' = 0,126$	expér. statique $k = 2,761$
13 »	2,461	» 0,020	0,130	» 2,683
15 »	2,597	» 0,032	0,135	» 2,844
Moyenne arithm.	$k = 2,498$			moyenne arithmétique $k = 2,763$
Erreur moyenne	$\pm 0,050$			erreur moyenne $\pm 0,0465$

6° Expériences faites à Genève, le pendule étant placé sur le grand pilier en mollesse, et le comparateur étant enlevé.

A. Par les oscillations du pendule.

16 novembre	$k = 3,204$	erreur moyenne $\pm 0,041$	$Q' = 0,182$	expér. statique $k = 3,432$
17 »	3,140	» 0,048	0,174	» 3,481
Moyenne arithm.	$k = 3,172$			Moyenne arithmétique $k = 3,457$
Erreur moyenne	$= 0,032$			erreur moyenne 0,025

B. Par l'action de poids alternativement abaissés et soulevés.

16 novembre	$k = 3,203$	erreur moyenne $\pm 0,027$	$Q' = 0,064$	expér. statique $k = 3,445$
17 »	3,369	» 0,036	0,110	» 3,546
Moyenne arith.	$k = 3,286$			moyenne arithmétique $k = 3,495$
Erreur moyenne	$\pm 0,083$			erreur moyenne $\pm 0,050$

Dans les deux alternatives, soit que le comparateur fût en place, soit qu'il ait été enlevé, le mode d'expérimentation par les poids donne une valeur de k plus forte que l'autre mode, par les oscillations du pendule, dans le rapport de 1 : 0,964 pour la première alternative, de 1 : 0,965 pour la seconde alternative. Ces deux rapports sont presque identiques, et peu différents de l'unité, cependant la différence dans les valeurs de k est en dehors des limites des erreurs. Les deux valeurs de k obtenues en moyenne dans les expériences statiques sont presque identiques pour les observations du 12 au 15 novembre, et s'accordent dans la limite des erreurs pour celles des 16 et 17 novembre; l'expérience statique donne une valeur de k plus forte que celle obtenue en moyenne dans les deux autres modes d'expérimentation, dans le rapport de 1 : 0,89, le comparateur étant en place, et de 1 : 0,93, le comparateur étant enlevé.

Si l'on examine enfin l'influence du comparateur sur le mouvement

du plan de suspension, on trouve que ce mouvement est augmenté si le comparateur est enlevé,

dans le rapport de 1 : 0,76 par les oscillations du pendule;

1 : 0,76 par le second mode d'expérimentation;

1 : 0,79 dans l'expérience statique.

3° Expériences faites à Berlin, le pendule étant placé sur le pilier en mollasse, surmonté de l'assise triangulaire, et le comparateur étant en place.

A. Par les oscillations du pendule.

27 octobre	$k = 2,563$	erreur moyenne $\pm 0,089$	$Q' = 0,196$	expér. statique $k = 3,371$
28 »	2,558	» 0,059	0,363	» 3,255
29 »	2,410	» 0,050	0,259	» 3,244
Moyenne arithm.	$k = 2,510$	»		moyenne arithmétique $k = 3,290$
Erreur moyenne	$\pm 0,050$			erreur moyenne $\pm 0,041$

B. Par l'action de poids alternativement soulevés et abaissés.

27 octobre	$k = 2,815$	erreur moyenne $\pm 0,133$	$Q' = 0,375$	expér. statique $k = 3,177$
28 »	2,954	» 0,044	0,387	» 3,257
29 »	2,919	» 0,024	0,318	» 3,140
Moyenne arithm.	$k = 2,896$			moyenne arithmétique $k = 3,191$
Erreur moyenne	$\pm 0,042$			erreur moyenne $\pm 0,035$

A Berlin, la différence entre les valeurs de k obtenues dans les deux modes d'expérimentation est très-sensible, bien en dehors des limites des erreurs, et beaucoup plus forte qu'elle n'avait été trouvée à Genève. Le mode d'expérimentation, par les poids soulevés et abaissés, donne une valeur de k plus forte, dans le rapport de 1 : 0,80, que celui par les oscillations du pendule. Si l'on prend la moyenne des valeurs de k obtenues dans l'expérience statique, savoir 3^u,241, l'on trouve le rapport 1 : 0,89 avec la valeur de 2^u,896, qu'avait donnée l'expérimentation par les poids, c'est-à-dire le même rapport que celui trouvé à Genève, le comparateur étant en place, tandis qu'on a le rapport de 1 : 0,774 avec la valeur de k donnée par les oscillations du pendule. L'on peut en conclure que les circonstances étaient les mêmes, dans l'expérience statique et dans le mode d'expérimentation avec les poids, et qu'elles étaient différentes dans les oscillations du pendule. Dans les deux premières l'effet

de la flexion ne se produit que d'un côté, et sur celui qui, en raison des circonstances particulières d'installation, mentionnées plus haut, offrait les moindres garanties de stabilité, tandis que dans les oscillations du pendule la flexion se produit alternativement de chaque côté.

Il n'y a pas de doute que, si la différence entre les deux modes d'expérimentation est expliquée de cette façon, c'est la valeur de k déduite des oscillations, savoir $2^{\text{''}},510$, qui doit être employée dans la réduction des observations du pendule faites à Berlin. Cette valeur est un peu plus forte que celle obtenue à Genève, le pendule étant placé sur le pilier en mollasse, qui offrait de plus grandes garanties de stabilité, mais la différence n'est pas très-considérable, le rapport étant celui de $1 : 0,96$.

Le mode d'installation du pendule, la nature du support sur lequel il est placé, en raison de l'élasticité de la matière dont il est composé, ou de sa masse relativement peu considérable, peut exercer une influence sur le mouvement du plan de suspension. Cette influence est très-sensible pour un support en bois, tel que celui qui avait été employé à Genève; elle est encore appréciable entre un pilier en pierre, tel que celui de Berlin, et le pilier très-massif, sur lequel les observations ont été faites au mois de novembre à Genève. Si le pendule est placé directement sur le sol, comme cela avait eu lieu au mois de septembre à Genève, la différence est à peine sensible avec le pilier en mollasse; en effet, les expériences n'ayant été faites au mois de septembre que sans le comparateur, on trouve $3^{\text{''}},214$ pour la valeur de k dans la moyenne des deux modes d'expérimentation, tandis que sur le pilier en mollasse, le comparateur étant enlevé, on a en moyenne pour k $3^{\text{''}},229$.

Il ne peut y avoir aucun doute sur la convenance d'appliquer dans chaque cas, pour la réduction des observations du pendule, la valeur de k déterminée dans des circonstances absolument les mêmes que celles dans lesquelles la durée des oscillations est observée, savoir : pour les observations du pendule faites à Genève sur le support en bois, la valeur $k = 3^{\text{''}},190$, avec une erreur moyenne de $\pm 0^{\text{''}},026$; pour les observations faites dans les autres stations suisses, sur un pilier tout à fait sem-

blable au grand pilier en mollasse, $k = 2''{,}408$, avec une erreur moyenne de $\pm 0''{,}060$; enfin, pour les observations faites à Berlin, $k = 2''{,}510$, avec une erreur moyenne de $\pm 0''{,}050$.

Il reste enfin à examiner, si la correction qu'il faut appliquer à la longueur du pendule simple, pour tenir compte du mouvement du plan de suspension, peut être déterminée avec une approximation suffisante dans les différents cas, d'après ces valeurs de k . D'après la formule de M. Peirce, la correction dL sur la longueur L du pendule simple faisant une oscillation dans une seconde, est $dL = k P \cdot \frac{L}{l}$, P étant le poids du pendule, exprimé dans l'unité à laquelle se rapporte k , savoir pour notre instrument, 30,5 et l la longueur de l'intervalle entre les couteaux, $\frac{L}{l} = 1,772$. La correction à appliquer pour les observations faites à Genève serait ainsi $dL = 0^{\text{mm}},1724 \pm 0^{\text{mm}},0014$; l'incertitude sur la valeur de L résultant de l'erreur sur la durée observée d'une oscillation était $\pm 0^{\text{mm}},0021$, donc sensiblement plus forte. Pour les observations faites dans les autres stations suisses, la correction dL serait $0^{\text{mm}},1302 \pm 0^{\text{mm}},0032$; or suivant les stations, l'incertitude sur la valeur de L varie de $0^{\text{mm}},0035$ à $0^{\text{mm}},0045$. Enfin, pour les observations faites à Berlin et qui ne sont pas encore réduites, la correction serait $dL = 0^{\text{mm}},1357 \pm 0^{\text{mm}},0027$.

L'on voit ainsi que la valeur de k , même déterminée par un petit nombre de jours, trois seulement, permet de trouver la correction à appliquer avec une approximation suffisante; c'est certainement une cause d'incertitude qui vient s'ajouter à celles auxquelles on est exposé dans la détermination de la durée d'une oscillation et dans la mesure de l'intervalle entre les couteaux, mais l'incertitude du résultat final ne sera pas augmentée dans une proportion considérable, tout au plus dans le rapport de 1 : $\sqrt{2}$.

Si je me suis étendu un peu longuement dans l'exposé de ces recherches, c'est dans le but d'éviter aux astronomes, qui auraient à entreprendre des expériences analogues, les essais inutiles et les tâtonnements par

lesquels j'ai dû passer. Dans le cas où j'aurais à reprendre ces expériences avec un autre instrument, je me bornerais à déterminer la quantité k par les oscillations du pendule lui-même, au lieu de répéter les expériences dans lesquelles le mouvement oscillatoire est produit par des poids alternativement soulevés et abaissés. L'on se rapproche beaucoup, il est vrai, dans ce mode d'expérimentation, de ce qui a lieu dans les oscillations, cependant il y a une différence qui, dans quelques cas, peut être assez considérable, et il me paraîtrait préférable de faire plutôt un plus grand nombre d'observations par les oscillations. Toutefois, et bien que je n'en aie pas fait usage pour la valeur de k , adoptée en définitive, je ne regrette pas d'avoir fait ces essais, qui ont pu servir de contrôle pour les résultats obtenus avec l'autre moyen d'expérimentation.

Publications de la Commission géodésique suisse:

Détermination télégraphique de la différence de longitude entre les observatoires de Genève et de Neuchâtel, par E. Plantamour et A. Hirsch. 1864, in-4 avec 4 planches Fr. 7 50

Expériences faites à Genève avec le pendule à réversion, par E. Plantamour, 1866, in-4 avec 3 planches Fr. 7 50

(Ces deux mémoires ont paru dans les *Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève.*)

Nouvelles expériences faites avec le pendule à réversion, et détermination de la pesanteur à Genève et au Righi-Kulm, par E. Plantamour. 1872, in-4 Fr. 7 50

Nivellement de précision de la Suisse, exécuté sous la direction de A. Hirsch et E. Plantamour. Livraisons I, II, III, IV, V et VI. — 1867-1877, in-4.
Prix de chaque livraison à partir de juillet 1875. Fr. 3 —

Détermination télégraphique de la différence de longitude entre la station astronomique du Righi-Kulm et les observatoires de Zurich et de Neuchâtel, par E. Plantamour, R. Wolf et A. Hirsch. 1871, in-4 avec 3 planches Fr. 8 —

Détermination télégraphique de la différence de longitude entre des stations suisses: 1. Entre la station astronomique du Weissenstein et l'observatoire de Neuchâtel en 1868. — 2. Entre l'observatoire de Berne et celui de Neuchâtel en 1869, par E. Plantamour et A. Hirsch. 1872, in-4 avec 1 planche Fr. 8 —

Observations faites dans les stations astronomiques du Righi-Kulm, du Weissenstein et de l'observatoire de Berne, par E. Plantamour. 1873, in-4 Fr. 8 —

Détermination télégraphique de la différence de longitude entre la station astronomique du Simplon et les observatoires de Milan et de Neuchâtel, par E. Plantamour et A. Hirsch, 1875, in-4 Fr. 8 —

Détermination télégraphique de la différence de longitude entre l'observatoire de Zurich et les stations astronomiques du Pfänder et du Gæbris, par E. Plantamour et R. Wolf, 1877, in-4. Fr. 8 —