



HAL
open science

Détermination de l'ohm par la méthode électrodynamique de M. Lippmann

H. Wuilleumier

► **To cite this version:**

H. Wuilleumier. Détermination de l'ohm par la méthode électrodynamique de M. Lippmann. J. Phys. Theor. Appl., 1890, 9 (1), pp.220-231. 10.1051/jphystap:018900090022000 . jpa-00239079

HAL Id: jpa-00239079

<https://hal.science/jpa-00239079>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

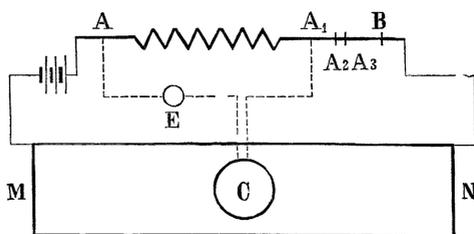
**DÉTERMINATION DE L'OHM PAR LA MÉTHODE ÉLECTRODYNAMIQUE
DE M. LIPPMANN;**

PAR M. H. WUILLEUMIER.

La méthode électrodynamique de M. Lippmann (1) pour déterminer l'ohm est une méthode de zéro dont voici le principe.

Un cadre mobile C, recouvert de fil fin, tourne avec une vitesse uniforme autour de son diamètre vertical; il est placé à l'intérieur d'une bobine fixe MN, parcourue par un courant constant, qui circule en même temps dans le conducteur dont il s'agit de déterminer la résistance. Le circuit induit est fermé au moment où la force électromotrice développée dans le cadre passe par sa valeur maxima, et cette force est alors compensée par la différence de potentiel qui existe entre deux points A et B du conducteur.

Fig. 1.



Si S désigne la surface enveloppée par le fil induit, v la vitesse de rotation du cadre, n le nombre de spires par centimètre de la bobine fixe, cette dernière étant supposée infiniment longue, la valeur R de la résistance entre les points A et B du conducteur est donnée par la formule

$$R = 8\pi^2 S n v.$$

En mesurant ensuite cette résistance en ohms légaux, on obtiendra par comparaison la valeur de l'ohm théorique.

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XCVI, p. 1348.

L'emploi d'une bobine fixe infiniment longue peut être évité d'une manière très simple. On met d'abord le cadre mobile au centre d'une bobine fixe de 2^m de longueur, par exemple, et l'on obtient les points A et A₁ comme il a été dit. Puis, laissant le cadre mobile à sa place, on amène la bobine primaire dans une seconde position qui est le prolongement de la première, et l'on obtient sur le conducteur un segment A₁A₂ qui est l'accroissement subi par AA₁ lorsque la bobine s'allonge de 2^m. Un nouveau déplacement d'égale longueur dans le même sens fournit un second segment A₂A₃ qui s'ajoute au premier, et ainsi de suite; on arrive promptement à des segments négligeables par rapport à AA₁.

La correction due au prolongement de la bobine dans l'autre sens est égale à la somme de ces segments, et, en ajoutant cette quantité à AA₃, on obtient une longueur AB du conducteur dont la résistance est exprimée par la formule ci-dessus.

Cette méthode très simple, qui n'exige aucun calcul de réduction ou de correction, présente quelque analogie avec la méthode de Lorenz et supprime totalement deux graves inconvénients de cette dernière : la petitesse de la force électromotrice développée par l'induction et la production de forces thermo-électriques au contact des pièces glissantes. Elle permet en outre de faire usage de courants relativement intenses et d'un galvanoscope dont la sensibilité n'ait rien d'exagéré; de plus, l'ensemble du dispositif et, en particulier, le mode de construction des deux bobines, qui n'ont qu'une seule couche de fil chacune, se prêtent à une détermination précise des constantes qui entrent dans la formule de la résistance à mesurer.

Notons en passant que le cadre tournant a déjà été appliqué par M. Carey Foster à la mesure des forces électromotrices instantanées.

Nous avons déterminé l'ohm par cette méthode, au moyen d'un appareil construit sur les plans de M. Lippmann avec les crédits alloués par le Ministère des Postes et Télégraphes; les mesures ont été effectuées au laboratoire des Recherches de la Sorbonne, en 1887 et 1888, et MM. A. Berget, docteur ès Sciences, et G. Léon, ingénieur des Mines, nous ont prêté leur bienveillant concours.

MM. P. Chappuis et A. Palaz, attachés au Bureau international des Poids et Mesures, se sont gracieusement chargés de déterminer

les dimensions de la bobine induite, à l'aide du comparateur universel de cet établissement. M. Benoît, directeur de ce même Bureau, a mis très obligeamment à notre disposition les instruments dont il a fait usage pour la construction des étalons prototypes de l'ohm légal, ainsi que les copies de ce dernier.

Il nous a été ainsi possible de comparer directement à l'ohm légal la résistance que nous avons déterminée en unités absolues et d'éviter les erreurs résultant de la comparaison avec un étalon secondaire pouvant avoir subi quelques variations depuis sa construction.

Ces deux déterminations très importantes ont ainsi été faites dans les meilleures conditions.

Description des appareils. — La bobine inductrice a 2^m de longueur et 30^{cm} de diamètre; elle est formée d'une seule couche de fil de cuivre de 2^{mm}, recouvert d'une double enveloppe de soie et enroulé sur un cylindre de laiton de 3^{mm} d'épaisseur; ce dernier est séparé du fil par de l'arcanson et du papier Japon verni à la gomme laque. Le nombre des spires est de 922 et les extrémités du fil aboutissent à des bornes isolées sur des plaques d'ébonite. La bobine est montée sur roues et se déplace sur des rails en bois, pour être amenée dans les diverses positions qui servent à trouver expérimentalement la correction des extrémités.

La constante de cette bobine, c'est-à-dire le nombre de spires par centimètre, est,

$$n = 4,633.$$

Cette valeur a été obtenue en mesurant au cathétomètre la longueur occupée par 225 spires de chaque côté du plan médian.

Un bâti très massif supporte une pièce cylindrique en bois dur, pénétrant dans l'intérieur de la bobine inductrice; à son extrémité se trouve la bobine induite, fixée dans une chape et tournant autour de son diamètre vertical. Le mouvement de rotation lui est communiqué par un arbre de laiton de 1^m,50 de longueur, logé à l'intérieur de la pièce de bois, et par un engrenage conique dont les roues sont en carton comprimé; l'une est fixée à l'extrémité de l'arbre; l'autre, à la partie inférieure de la chape.

Deux pièces coniques en laiton sont disposées dans le prolongement de l'axe de rotation du cadre; l'une repose dans une cra-

paudine en agate et l'autre pivote dans un cylindre de bronze que l'on abaisse plus ou moins jusqu'à ce que cet axe ait un serrage convenable. On peut en outre déplacer verticalement la crapaudine, afin de faire coïncider le centre du cadre tournant avec l'axe de la bobine inductrice.

Le cadre tournant est un disque de bois dur de 20^{cm} de diamètre et 5^{cm} de largeur, sur lequel sont enroulés 303 tours de fil de cuivre très fin, recouvert de soie et verni à la gomme laque.

Le diamètre de ce cadre a été mesuré au comparateur universel du Bureau international des Poids et Mesures par MM. Chappuis et Palaz. Voici les résultats des mesures de trois diamètres équidistants, sur chacune des faces, en visant le milieu du fil :

Première série.

	^{cm}	^{cm}	^{cm}
Première face.....	20,1699	20,1829	20,1610
Seconde face	<u>20,1694</u>	<u>20,1828</u>	<u>20,1688</u>
Moyennes	20,16965	20,18285	20,1649
Moyenne.....	20 ^{cm} ,1725.		

Seconde série.

	^{cm}	^{cm}	^{cm}
Première face.....	20,1628	20,1730	20,1569
Seconde face	<u>20,1710</u>	<u>20,1814</u>	<u>20,1601</u>
Moyennes	20,1669	20,1772	20,1585
Moyenne.....	20 ^{cm} ,1675.		

Ces deux séries donnent comme valeur moyenne du diamètre

$$d = 20^{\text{cm}},1700.$$

En mesurant ensuite le diamètre du cadre, sans le fil, on a trouvé :

	^{cm}		^{cm}
	20,1584		20,1371
	20,1579		20,1534
	<u>20,1608</u>		<u>20,1654</u>
Moyenne.....	20,1590	Moyenne.....	20,1520

La moyenne de ces séries est

$$d_1 = 20^{\text{cm}},1555.$$

Si l'on ajoute à ce nombre l'épaisseur du fil

$$0^{\text{cm}},0125,$$

déterminée au sphéromètre, on trouve pour le diamètre

$$d = 20^{\text{cm}}, 1680,$$

valeur extrêmement voisine du chiffre obtenu précédemment.

Nous avons admis la moyenne de ces deux nombres comme diamètre moyen du cadre, soit

$$d = 20^{\text{cm}}, 169,$$

et la surface enveloppée par les 303 tours du fil de la bobine induite est égale à

$$S = 96805^{\text{cm}^2}, 73.$$

Les deux extrémités du fil de cette bobine aboutissent à deux pièces de laiton fixées sur une bague d'ébonite, à la partie supérieure de la chape; celles-ci sont disposées suivant le même diamètre et font saillie de quelques millimètres. Pendant la rotation du cadre, deux balais en clinquant se trouvent un instant en contact avec ces deux pièces de laiton et ferment le circuit secondaire au moment où la force électromotrice induite dans le cadre atteint sa valeur maxima; celle-ci se trouve alors en opposition avec la différence de potentiel entre deux points du conducteur. Les balais sont reliés aux appareils de mesure par des fils de cuivre isolés à la gutta et fixés sur des supports en ébonite placés sur le bâti.

A l'extrémité de la pièce de bois, près du cadre tournant, se trouve une bobine dans laquelle on envoie un courant constant pour neutraliser l'action du champ magnétique terrestre. Un rhéostat permet d'en graduer l'intensité jusqu'à ce que l'on obtienne une compensation absolue; celle-ci est facile à réaliser et peut être vérifiée à chaque instant pendant le cours des mesures, car l'électromètre placé dans le circuit secondaire doit rester au zéro lorsque le circuit primaire est ouvert.

La rotation du cadre est produite par un moteur magnéto-électrique à anneau Gramme, actionné par une batterie d'accumulateurs. Son axe est relié par un double joint Cardan à l'arbre de laiton, qui pénètre à l'intérieur de la bobine inductrice jusqu'aux engrenages de la chape; le mouvement de rotation est régularisé par un fort volant en bois fixé sur cet arbre.

Ce moteur était muni d'un régulateur électrique à force centrifuge qui interrompait le courant des accumulateurs dès que la vi-

tesse dépassait une certaine valeur, et le rétablissait ensuite quand celle-ci avait quelque peu diminué : on espérait obtenir de cette manière une vitesse très constante.

Ce dispositif donne d'excellents résultats quand on n'exige du moteur qu'un travail relativement faible et quand les frottements sont presque nuls ou du moins ne subissent aucune variation. Nous nous sommes rendu compte de sa valeur par des essais comparatifs à l'aide de la méthode stroboscopique, qui s'applique spécialement à ce genre de mesures. Nos observations ont été faites avec un mouvement d'horlogerie muni d'un régulateur Foucault, un diapason entretenu électriquement et le moteur électrique marchant à vide ; elles ont démontré la grande supériorité de ce dernier au point de vue de la régularité de sa vitesse pendant une durée de plusieurs heures.

Mais, lorsqu'il s'agit de communiquer un mouvement rapide à plusieurs mobiles reliés par de longs arbres et par des engrenages, le régulateur électrique ne fonctionne pas avec une promptitude suffisante ; il n'a pu être utilisé pendant le cours des expériences, et toutes les tentatives faites pour assurer automatiquement la régularité de la vitesse sont demeurées infructueuses.

On obtient par contre d'excellents résultats en employant un frein formé d'une petite corde enroulée sur l'arbre et manœuvré à l'aide d'un levier par un expérimentateur. De cette manière, il est aisé de régler la vitesse du cadre tournant sur celle d'un diapason entretenu électriquement, en se servant de la méthode stroboscopique. A cet effet, les deux branches du diapason portent deux plaques légères fendues chacune suivant une ligne horizontale et disposées de façon que les fentes se trouvent un instant en face l'une de l'autre pendant chaque vibration de l'instrument. En visant à travers celles-ci le pourtour du volant sur lequel sont tracées 32 bandes égales, alternativement blanches et noires, on le voit immobile quand sa vitesse est un multiple exact de celle du diapason, et il paraît animé d'un mouvement lent dès que sa vitesse varie.

A l'aide du frein, on parvient aisément à régler la vitesse du moteur sur celle du diapason et à la maintenir absolument constante pendant plusieurs minutes, et comme la durée des observations à l'électromètre ne dépasse pas quelques secondes, la vitesse

de rotation du cadre se trouve être un multiple exact de celle du diapason et elle est ainsi déterminée par une méthode de zéro.

Pour connaître cette vitesse, il suffit ensuite d'enregistrer simultanément sur un cylindre Marey les vibrations du diapason et la marche d'un pendule battant la seconde, et de compter le nombre de vibrations inscrites pendant dix à douze minutes. Le pendule a été réglé sur un chronomètre Breguet avec une précision dépassant $\frac{1}{40000}$ de seconde.

Pendant les observations, le diapason faisait 68,2 vibrations doubles par seconde, et le cadre tournait avec une vitesse de 8,525 tours par seconde.

Le conducteur, dont nous avons déterminé la résistance en valeur absolue, est un ruban de maillechort à section rectangulaire, ayant 34^m,72 de longueur, 1^{cm} de largeur et 0^{cm},3 d'épaisseur; il est enroulé en spirale et renfermé dans un récipient contenant de l'huile de naphte. Une des extrémités de ce ruban est rectiligne sur une longueur de 1^m,50 et porte une échelle graduée en centimètres.

Ce conducteur est intercalé dans le circuit primaire par des godets pleins de mercure. Une des prises de potentiel A s'effectue au moyen d'une tige de cuivre platinée, taillée en biseau et pressée sur la partie rectiligne du conducteur; elle peut être déplacée à volonté. La seconde prise A est fixe et se trouve à l'autre extrémité.

Ces deux prises communiquent, l'une avec une des bornes de l'électromètre, l'autre avec un des balais frottant sur la chape du cadre tournant. Le fil du second balai aboutit à l'autre borne de l'électromètre et complète le circuit secondaire. Tous ces fils sont isolés par de la gutta-percha et de la gomme laque et sont en outre, autant que possible, maintenus en l'air par des cordons de soie.

Pour déterminer la compensation de la force électromotrice induite dans le cadre tournant et de la différence de potentiel entre deux points du conducteur, nous avons employé un électromètre capillaire shunté par un condensateur ayant une capacité de 0,3 microfarad. Cet instrument s'applique spécialement aux méthodes de zéro; sa grande sensibilité, qui peut atteindre dans certains cas 0^{volt},00003, son apériodicité absolue et la facilité avec laquelle se font les observations, en recommandent l'emploi dans les mesures de précision.

Le courant primaire, dont l'intensité était d'environ 12 ampères, a été fourni par une batterie d'éléments Bunsen isolée sur des barreaux de verre.

Observations. — Les observations sont ramenées à la détermination simultanée de deux zéros. La bobine inductrice est placée d'abord dans une position symétrique par rapport à l'axe vertical du cadre tournant, puis on neutralise l'action du magnétisme terrestre, jusqu'à ce qu'on n'observe plus aucune force électromotrice dans le circuit secondaire et que l'électromètre reste au zéro.

Un des observateurs, installé au diapason, maintient la vitesse du cadre absolument constante, pendant qu'un second observateur ferme le circuit primaire et déplace le long du conducteur la prise de potentiel mobile, jusqu'à ce que l'électromètre indique une compensation complète. On parvient aisément à déterminer sur le ruban de maillechort un point tel qu'un déplacement du contact de moins de 1^{mm} corresponde à une variation de niveau notable du mercure de l'électromètre, et à fixer entre deux limites très rapprochées la véritable position de ce point. La lecture se fait sur l'indication du premier observateur, au moment précis où la vitesse du cadre est invariable et a sa valeur normale, c'est-à-dire au moment où les bandes placées sur le pourtour du volant et vues à travers les fentes des plaques du diapason paraissent être dans une immobilité complète.

On répète ensuite la même observation en renversant le sens du courant primaire, puis les observateurs changent de place, afin d'éliminer les erreurs personnelles. La température du conducteur est notée après chaque lecture.

Voici les résultats de deux séries d'observations faites aux températures de 19°, 3 C. et 18°, 7 C. :

Observations.		Moyenne.	T.	Observations.		Moyenne.	T.
31,2	31,2	31,2	19,2	32,1	32,2	32,2	18,5
31,1	31,2			32,2	32,2		
31,0	31,4	31,3	19,1	31,6	31,8	31,7	18,8
31,4	31,5			31,8	31,6		
31,0	30,6	30,9	19,6	31,8	31,9	31,9	18,8
30,9	31,1			31,9	32,0		
Moyennes...		31,1	19,3			31,9	18,7

La moyenne des deux séries est

$$31,5 \text{ à } 19^\circ.$$

Ce point 31,5 de l'échelle, ou A_1 , correspond à la compensation complète à la température de 19° C. Il est déterminé par l'observation simultanée de deux zéros, l'un au diapason, l'autre à l'électromètre.

On déplace ensuite la bobine inductrice dans le sens de son axe d'une quantité égale à sa longueur et l'on détermine par la même méthode l'écartement des deux prises de potentiel $A_1 A_2$ qui correspond à une compensation parfaite, la vitesse du cadre étant restée la même. Cette longueur $A_1 A_2$ a été trouvée égale à $17^{\text{cm}},6$.

Un nouveau déplacement égal de la bobine inductrice n'a plus fourni qu'un écartement $A_2 A_3$ de $1^{\text{cm}},45$ des deux prises sur le conducteur; placée encore plus loin, la bobine primaire n'induit plus de force électromotrice appréciable dans le cadre tournant.

En doublant la somme $A_1 A_2 + A_2 A_3$, on obtient sur le conducteur une longueur de $38^{\text{cm}},1$ qui correspond à la correction des extrémités de la bobine primaire. Si l'on ajoute celle-ci à la portion du ruban fixée par les premières mesures, on obtient, au lieu du point 31,5, le point 69,6, que nous désignerons par la lettre B.

La résistance de la portion AB du ruban à la température de 19° est exprimée par la formule établie plus haut

$$R = 8\pi^2 S n \nu,$$

dans laquelle nous avons

$$\begin{aligned} S &= 96805,73^{\text{cmg}} \\ n &= 4,633 \\ \nu &= 8,525 \end{aligned}$$

n se rapporte cette fois à une bobine infiniment longue.

En effectuant les calculs, on obtient

$$R = 0,301889 \times 10^9 \text{ C.G.S. à } 19^\circ \text{ C.}$$

C'est la résistance en unités C.G.S. de la portion AB du conducteur à 19° ; il suffit de mesurer cette quantité en ohms légaux pour obtenir ensuite par comparaison la valeur de l'ohm vrai.

Cette mesure a été faite au Bureau international des Poids et Mesures, où M. Benoît a mis à notre disposition, avec une grande obligeance, toute l'installation électrique ayant servi à la construction des prototypes de l'ohm légal. Nous avons utilisé la méthode employée par M. Benoît; c'est une sorte de double pesée dans laquelle la différence des résistances à comparer se trouve exprimée par une certaine longueur du fil d'un pont de Wheatstone (¹).

La résistance du ruban de maillechort étant voisine de 0^{ohm},3, la méthode de comparaison la plus précise consistait à former la seconde branche du pont par trois étalons au mercure de l'ohm légal, groupées en quantité au moyen de grosses tiges de cuivre terminées par des capsules de platine et plongeant dans les flacons terminaux des étalons.

Les étalons mis à notre disposition avaient, à 0° C., les valeurs suivantes :

Numéros.	ω
3.....	0,999720
69.....	0,998776
330.....	0,998264

Ils étaient placés dans un vase plein d'eau et, groupés en quantité, ils formaient une branche du pont ayant une résistance de

$$0^{\omega},332973 \text{ à } 0^{\circ} \text{ C.}$$

Nous avons fait deux séries de comparaisons; la première à une température moyenne de 9°,02, la seconde à 17°,76; elles ont fourni, pour la résistance du conducteur de maillechort en ohm légal, les valeurs suivantes :

$$0^{\omega},303700 \text{ à } 9^{\circ},02,$$

$$0^{\omega},305015 \text{ à } 17^{\circ},76;$$

on en déduit le nombre

$$\alpha = 0,0004976$$

pour le coefficient moyen de variation de résistance du ruban de

(¹) R. BENOIT, *Construction des étalons prototypes de résistance électrique*. Paris, Gauthier-Villars; 1885.

maillechort avec la température, en admettant pour le mercure les coefficients

$$\begin{aligned} a &= 0,0008649, \\ b &= 0,00000112. \end{aligned}$$

La résistance du ruban de maillechort est exprimée à une température t par la formule

$$r = 0^{\omega},302341(1 + 0,0004976t),$$

ce qui nous donne, à 19° C., température des premières observations,

$$r = 0^{\omega},305199.$$

Sa longueur étant de $34^{\text{m}},72$, la résistance de 1^{cm} est de $0^{\omega},0000879$.

Les deux points A et B déterminés dans la première partie des expériences étaient éloignés des extrémités du ruban, l'un de $22^{\text{cm}},2$, l'autre de $6^{\text{cm}},8$.

Cette somme de 29^{cm} a une résistance de $0^{\omega},002549$ que nous avons à déduire de la valeur de r pour obtenir en ohm légal la résistance de la portion du ruban comprise entre A et B. Celle-ci se trouve égale, à 19° C., à

$$R' = 0^{\omega},302650.$$

Nous avons trouvé précédemment que cette même quantité, exprimée en unités C.G.S., a pour valeur

$$R = 0,301889 \times 10^9.$$

Le premier nombre se rapportant à l'ohm légal, c'est-à-dire à la résistance d'une colonne de mercure de 1^{mm} de section et de 106^{cm} de longueur à la température de la glace fondante, on déduit par comparaison de R et de R' la valeur de l'ohm théorique qui est la résistance d'une colonne de mercure de 1^{mm} carré de section et de $106^{\text{cm}},267$ de longueur à la même température.

Le nombre $106^{\text{cm}},27$ que nous avons trouvé pour la longueur de la colonne mercurielle correspondant à l'ohm théorique est très voisin des résultats fournis par les déterminations les plus récentes. Citons parmi ceux-ci $106,30$ obtenu par M. Rowland, $106,32$ par M. Kohlrausch et $106,24$ par M. Dorn.

La concordance de ces diverses mesures permet d'admettre que la longueur de la colonne de mercure qui correspond à l'ohm théorique est connue avec une approximation qui dépasse $\frac{1}{2000}$.
