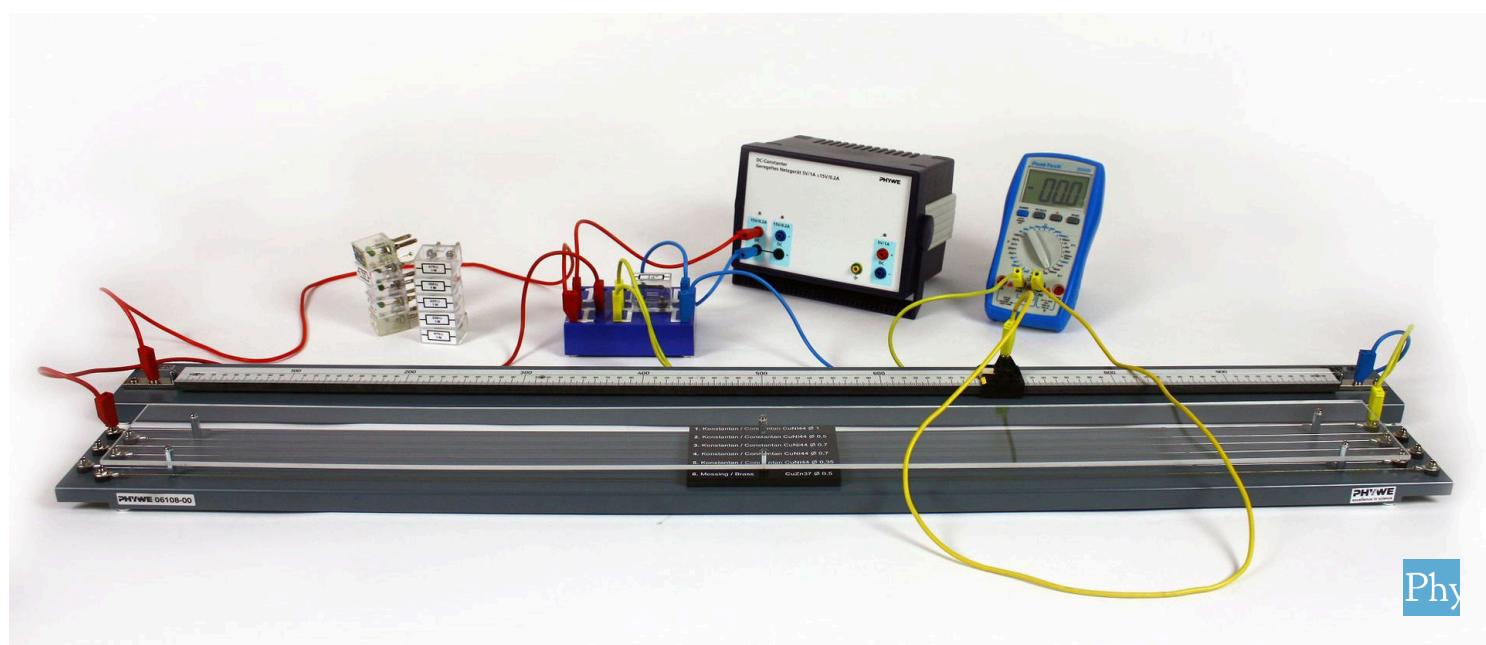


Pont de Wheatstone



Phy

Physique

Électricité et magnétisme

Le courant électrique et ses effets

Physique

Électricité et magnétisme

Circuits simples, Résistances, Condensateurs



Niveau de difficulté

moyen



Taille du groupe

-



Temps de préparation

45+ minutes



Temps d'exécution

45+ minutes



Informations générales

Application

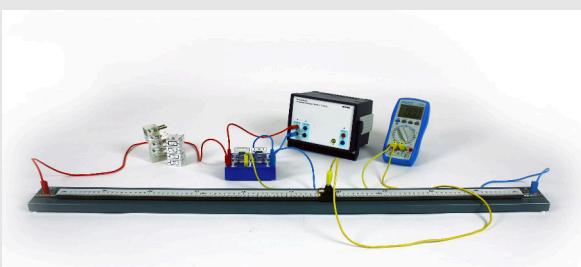


Fig. 1 : Montage expérimental du pont de Wheatstone.

En électronique et en électromagnétisme, la résistance électrique d'un objet est une mesure de son opposition à la circulation du courant électrique. Les résistances sont très importantes en électronique et ont de nombreuses applications en informatique et dans d'autres types de circuits.

Autres informations (1/2)



Les connaissances préalables à cette expérience se trouvent dans la section Théorie.

Priorité

connaissances



Principal

principe

Le pont de Wheatstone est utilisé pour déterminer une résistance inconnue avec une grande précision en ajustant une combinaison connectée de résistances connues.

Autres informations (2/2)



Apprentissage

objectif



Tâches

Le but de cette expérience est de déterminer les résistances à l'aide du pont de Wheatstone.

1. Détermination des résistances inconnues à l'aide du pont de Wheatstone.
2. Détermination de la résistance totale de résistances en série.
3. Détermination de la résistance totale de résistances en parallèle.
4. Mesure de la faible résistance et détermination de la résistivité électrique du CuNi (Constantan).

Théorie (1/3)

Le pont de Wheatstone est constitué de quatre résistances connectées comme indiqué à la figure 2. Une source de tension est connectée aux jonctions a et c, tandis que l'ampèremètre G mesure le flux de courant entre les jonctions b et d.

La deuxième loi de Kirchhoff implique que l'application d'une certaine tension entre a et c provoque une chute de potentiel égale entre les jambes a-b-c et a-d-c.

Les deux branches servent de diviseur de tension particulier. Les potentiels aux jonctions b et d dépendent des proportions des résistances le long des branches respectives

$$V_b = \frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot V_{\text{source}} \quad \text{et} \quad V_d = \frac{R_4}{R_3+R_4} \cdot V_{\text{source}} \quad (1)$$

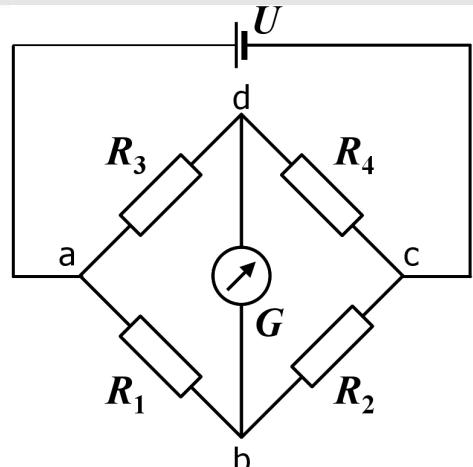


Fig. 2 : Pont de Wheatstone, schéma de base.

Théorie (2/3)

Si les proportions des résistances sont ajustées de manière à ce que les potentiels V_b et V_d soient égaux, l'intensité du courant se traduit par la disparition de l'intensité du courant dans l'ampèremètre. La détection du courant nul est très facile et peut également être réalisée avec un simple galvanomètre. Cet état est appelé point d'équilibre du pont de Wheatstone. Dans ce cas, l'équation 1 peut être combinée :

$$\frac{R_2}{R_1+R_2} = \frac{R_4}{R_3+R_4} \quad (2)$$

$$\Leftrightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (3)$$

Si trois résistances sont connues et que la quatrième, par exemple R_3 , est inconnue, il peut être calculé après avoir placé le pont au point d'équilibre.

$$R_3 = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_4 \quad (4)$$

Théorie (3/3)

Dans la présente expérience, la résistance de la jambe inférieure est remplacée par un potentiomètre à fil coulissant, comme le montre la figure 3, où un contact coulissant peut être déplacé sur la longueur d'un fil pour diviser sa résistance totale en deux parties distinctes. Le fil est fait d'un matériau homogène avec un diamètre uniforme, sa résistance peut donc être spécifiée par $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$ (5)

où ρ représente la résistivité électrique du matériau du fil, l est la longueur du fil et A est sa section transversale. La résistance du fil dépend donc des propriétés géométriques et des propriétés spécifiques du matériau. La résistivité et la section étant uniformes, la résistance augmente proportionnellement à la longueur. Cela implique que le rapport de résistance du fil de glissement R_1/R_2 peut être exprimée par la proportion de ses longueurs l_1/l_2 . La première loi de Kirchhoff implique que la somme de tous les courants dirigés vers une jonction ou s'en éloignant doit être nulle. Au point d'équilibre, alors qu'aucun courant ne traverse l'ampèremètre, le courant doit rester constant le long des deux branches du pont de Wheatstone. Les équations 4 et 5 donnent donc la résistance inconnue

$$R_x = \frac{l_1}{l_2} \cdot R_C \quad (6)$$

Equipement

Position	Matériel	No. d'article	Quantité
1	Pont de Wheatstone, simple	07182-00	1
2	Boîte de Connexion	06000-00	1
3	Résistance 1 Ohm (2%), 2 W, boîtier G1	06055-10	1
4	Résistance 2 ohm 5%, 2w, G1	06055-20	1
5	Résistance 5 ohm 5%, 2w, G1	06055-50	1
6	Résistance 10 Ohm, 1 W, boîtier G1	39104-01	1
7	Résistance 100 Ohm, 1 W, boîtier G1	39104-63	1
8	Résistance 150 Ohm, 1 W, boîtier G1	39104-10	1
9	Résistance 330 Ohm, 1 W, boîtier G1	39104-13	1
10	Résistance 680 Ohm, 1 W, boîtier G1	39104-17	1
11	PHYWE Alimentation 0...12 V CC, 2 A / 6 V, 12 V CA, 5 A	13506-93	1
12	Multimètre digital 3 1/2 digit avec thermocouple NiCr-Ni	07122-00	1
13	Fil de connexion, 32 A, 1000 mm, rouge	07363-01	1
14	Fil de connexion, 32 A, 500 mm, rouge	07361-01	1
15	Fil de connexion, 32 A, 1000 mm, jaune	07363-02	3
16	Fil de connexion, 32 A, 1000 mm, bleu	07363-04	1
17	Fil de connexion, 32 A, 500 mm, bleu	07361-04	1
18	Résistance 47 Ohm, 1 W, boîtier G1	39104-62	1
19	Résistance 220 Ohm, 1 W, boîtier G1	39104-64	1

Configuration et procédure

Mise en place (1/2)

Au préalable, jusqu'à cinq résistances choisies au hasard doivent être préparées pour la mesure. Pour cacher les informations relatives à la résistance, les valeurs imprimées et, éventuellement, le boîtier transparent des résistances choisies doivent être recouverts de ruban adhésif. Pour les séparer pendant la mesure et la vérification ultérieure, les résistances doivent être étiquetées de la manière suivante $R_{x1} \dots R_{x5}$. Dans les exemples de mesure suivants, la désignation utilisée est la suivante :

R_{x1}	R_{x2}	R_{x3}	R_{x4}	R_{x5}
220Ω	2Ω	47Ω	5Ω	680Ω

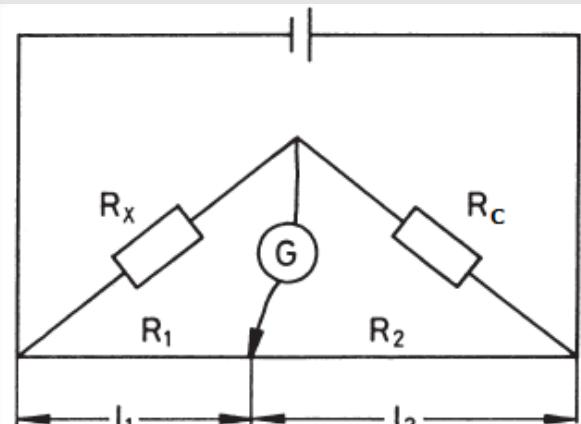


Fig. 3 : Schéma du circuit du pont de Wheatstone.

Mise en place (2/2)

Le dispositif expérimental est illustré à la figure 1. D'après la figure 4, la première résistance inconnue R_x et une résistance connue R_C (par exemple 100Ω) sont placés sur la boîte de connexion. Le cordon rouge court relie R_x avec le connecteur rouge de la sortie CC, tandis que le long cordon rouge relie cette jonction au connecteur gauche du pont de mesure à fil coulissant. De même, les cordons bleus sont reliés à la résistance de comparaison R_C . Le connecteur bleu de la sortie DC, et le connecteur droit du fil de glissement. Entre les deux, les cordons jaunes relient l'ampèremètre G (échelle mA, mode DC) avec la jonction entre R_x et R_C ainsi que le curseur du pont de mesure. Le schéma du circuit est illustré à la figure 3.

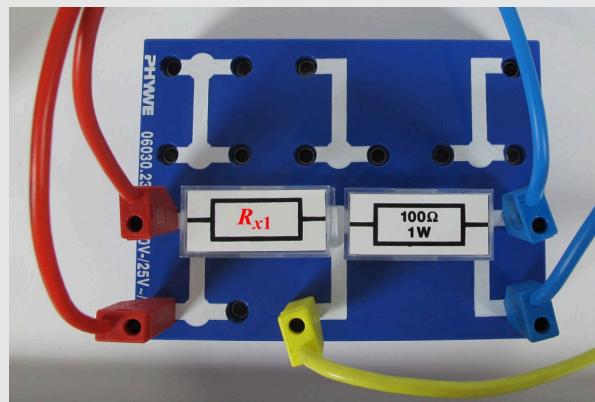


Fig. 4 : Montage de la branche supérieure du pont de Wheatstone avec une résistance inconnue.

Procédure (1/6)

Détermination de la résistance inconnue(s)

- Pour obtenir la résistance inconnue R_x Le curseur du pont de mesure doit être déplacé de manière à ce que l'ampèremètre affiche un courant nul.
- En fonction des résistances choisies, il est possible que vous détectiez un courant résiduel dans chaque position du curseur. Dans ce cas, il faut remplacer la résistance de comparaison R_C avec un autre. La même procédure est conseillée si la position du curseur est proche des extrémités du fil, car la précision de la mesure diminuera dans le cas contraire.
- Déterminer la position du curseur l_1 sur la règle et la position associée $l_2 = 100 \text{ cm} - l_1$
- Remplacer R_x et répéter la procédure jusqu'à ce que les cinq résistances inconnues soient déterminées.

Remarque :

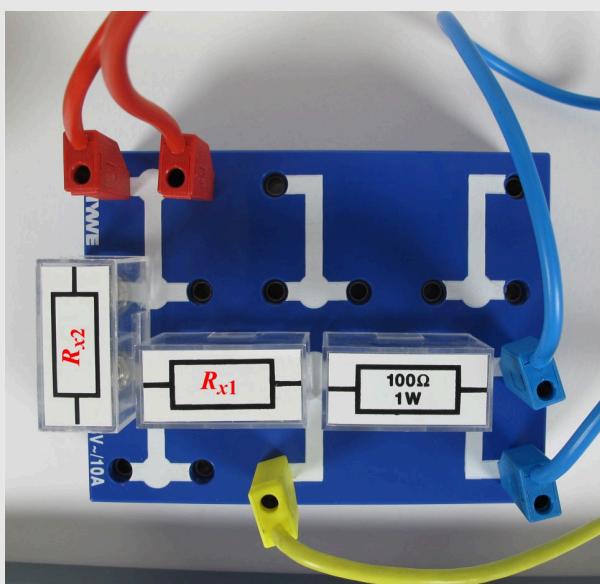
L'alimentation électrique fournit un courant allant jusqu'à 2 A à une tension de 12 V. Si le courant dépasse ce seuil en raison, par exemple, d'une petite résistance dans le circuit, l'appareil réduit la tension pour éviter tout dommage. Ceci est indiqué par l'allumage de la LED rouge au-dessus du sélecteur de courant. Néanmoins, la mesure et les résultats ne seront pas affectés par cette protection contre les courts-circuits.

Procédure (2/6)

Détermination de la résistance totale de résistances en série.

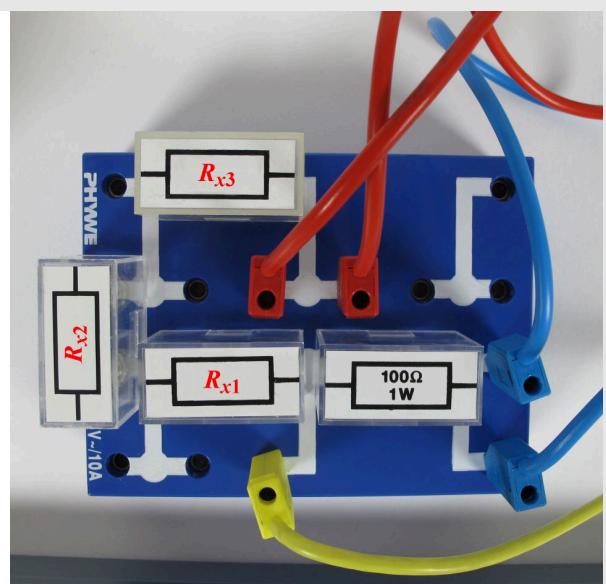
- Pour déterminer la résistance de deux ou trois résistances inconnues connectées en série, la branche supérieure du pont de Wheatstone doit être modifiée conformément à la figure 5 ou à la figure 6, respectivement. Résistance R_x est remplacée par différentes combinaisons de résistances inconnues, tandis que l'une des résistances connues reste la suivante R_C .
- Effectuez les mesures comme vous l'avez fait dans la tâche 1 pour au moins deux combinaisons de deux et deux combinaisons de trois résistances. Déterminez les positions correspondantes des curseurs l_1 (ainsi que l_2).

Procédure (3/6)



← Fig. 5 :
Configuration pour deux résistances inconnues connectées en série.

→ Fig. 6 :
Configuration pour trois résistances inconnues connectées en série.



Procédure (4/6)

Détermination de la résistance totale de résistances en parallèle.

- Pour étudier l'effet de deux résistances connectées en parallèle, le montage doit être ajusté comme indiqué sur la figure 7. Résistance R_x est remplacée par deux résistances inconnues dans un circuit parallèle, tandis que l'une des résistances connues sert de R_C .
- Répéter les étapes de la tâche 1 pour au moins trois combinaisons différentes de résistances et déterminer les positions correspondantes des curseurs. l_1 (ainsi que l_2), encore une fois.

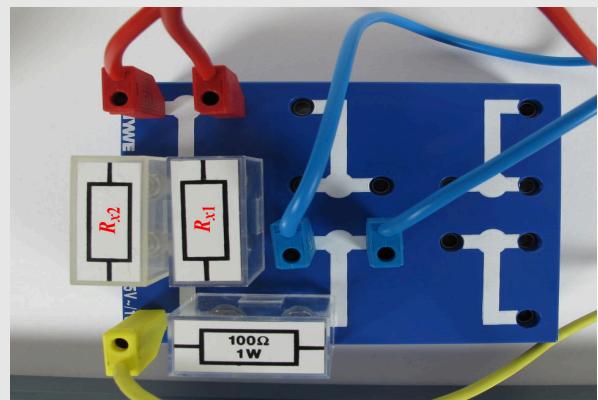


Fig. 7 : Montage de la branche supérieure du pont de Wheatstone avec deux résistances inconnues connectées en parallèle.

Procédure (5/6)

Détermination de la résistivité électrique de CuNi.

- L'un des avantages du pont de Wheatstone est la possibilité de déterminer avec précision une faible résistance. Pour la démonstration, la résistance de plusieurs fils de Constantan de différents diamètres (et de longueur identique $l = 100$ cm) doit être mesurée. La résistivité électrique du Constantan peut ainsi être obtenue.
- A cette fin, R_C doit être remplacée par une résistance d'environ 1Ω et le fil CuNi44 n° 1 de la carte de résistance doit être connecté comme suit R_x (voir figures 8 et 9).
- De nouveau, la mesure doit être effectuée comme précédemment jusqu'à ce que le pont soit équilibré.
- Enregistrer la position du curseur l_1 (ainsi que l_2) et répéter la mesure pour les fils CuNi44 restants n° 2, 3 et 5.

Procédure (6/6)

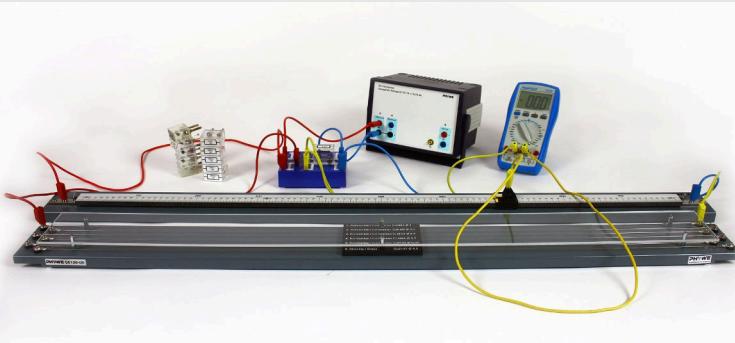


Fig. 8 : Montage expérimental utilisant la carte de résistance.

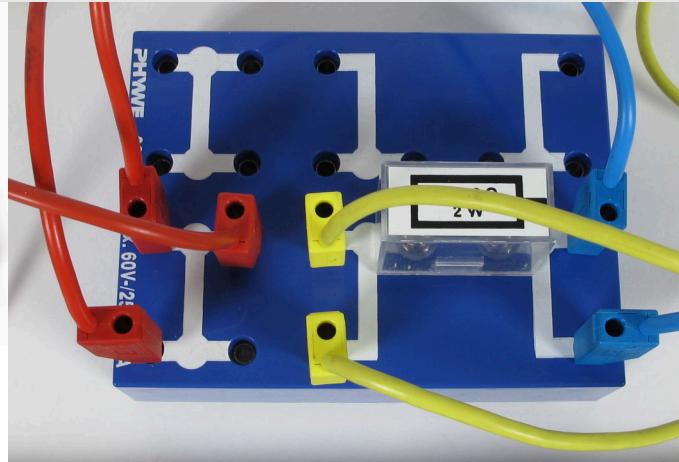


Fig. 9 : Montage de la boîte de connexion pour l'utilisation de la carte de résistance avec le pont de Wheatstone.



L'évaluation

Tâche 1

Calculez la résistance des résistances inconnues à l'aide de l'Eq. 6 et des longueurs mesurées sur le fil de glissement. Révéler les valeurs indiquées des résistances utilisées et les comparer aux résultats calculés (voir exemple dans le Tab. 1).

Vous remarquerez que l'écart augmente pour les valeurs mesurées près des extrémités du fil. Néanmoins, les valeurs absolues de la résistance mesurée et de la résistance réelle sont en bon accord. Afin de réduire la tolérance, remplacez la résistance de comparaison R_C avec une résistance d'une valeur comparable à R_x .

Étiquetage	R_C [Ω]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	R_x [Ω]	réel R_x [Ω]	diviation [%]
R_{x1}	100	690	310	223	220	1.4
R_{x2}	100	22	978	2.25	2	12.5
R_{x3}	100	317	683	46.4	47	-1.3
R_{x4}	100	51	949	5.4	5	8.0
R_{x5}	100	875	125	700	680	2.9

Tableau 1 : Évaluation de résistances inconnues avec le pont de Wheatstone.

Tâche 2

Calculer la résistance totale R_x des résistances inconnues dans le circuit en série à l'aide de l'Eq. 6 et des longueurs mesurées sur le fil de glissement. Révéler les valeurs indiquées des résistances utilisées et les comparer aux résultats calculés (voir exemple dans le Tab. 2).

Résistances utilisées	R_C [Ω]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	R_x [Ω]	réel R_x [Ω]	diviation [%]
R_{x3}, R_{x5}	100	882	118	747.5	727	2.8
R_{x1}, R_{x4}	100	690	310	222.6	225	-1.1
R_{x1}, R_{x2}, R_{x3}	100	732	268	273.1	269	1.5
R_{x1}, R_{x3}, R_{x5}	100	909	91	998.9	947	5.5

Selon la deuxième loi de Kirchhoff, la chute de tension aux bornes de chaque branche du pont de Wheatstone s'additionne à la tension totale appliquée au point d'équilibre. En raison du flux de courant constant le long de chaque branche, la loi d'Ohm donne une résistance totale égale à la somme de chaque valeur de résistance individuelle dans un circuit en série.

$$R_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^n R_i(7)$$

Tableau 2 : Évaluation des résistances dans un circuit en série.

Tâche 3

Calculer la résistance totale R_x des résistances inconnues dans le circuit parallèle à l'aide de l'Eq. 6 et des longueurs mesurées sur le fil de glissement. Révéler les valeurs indiquées des résistances utilisées et les comparer aux résultats calculés (voir l'exemple dans le Tab. 3).

Résistances utilisées	R_C [Ω]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	R_x [Ω]	réel R_x [Ω]	diviation [%]
-----------------------	--------------------	------------	------------	--------------------	-------------------------	---------------

R_{x1}, R_{x3}	100	282	718	39.3	38.7	1.4 Tableau 3 : Évaluation des résistances dans un circuit parallèle.
R_{x2}, R_{x3}	100	17	983	1.7	1.9	-9.9
R_{x4}, R_{x5}	100	44	956	4.6	5.0	-7.3

Selon la première loi de Kirchhoff, le courant total dans un circuit parallèle de résistances est égal à la somme des courants dans chaque branche individuelle alors que la tension est la même pour chaque composant. La résistance totale d'un circuit parallèle peut donc être déterminée en utilisant la loi d'Ohm et en additionnant les valeurs réciproques de la résistance de chaque composant :

$$\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad (8)$$

L'ajout d'une branche parallèle au circuit augmente le flux de courant parce que la résistance actuelle peut être contournée le long de la branche supplémentaire. Par conséquent, la résistance totale d'un circuit parallèle est toujours inférieure à la valeur de résistance de la plus petite résistance particulière (voir Tab. 3).

Tâche 4 (1/3)

Calculer la résistance totale R_x des fils du circuit parallèle en utilisant l'Eq. 6 et les longueurs mesurées sur le fil de glissement (voir l'exemple dans le Tab. 4).

d [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	R_x [Ω]
1	392	608	0.645
0.5	717	283	2.53
0.7	564	436	1.29
0.35	840	160	5.25

Tableau 4 : Résistance de différents fils de Constantan de longueur $l = 1$ m.

Conformément à l'équation 5, la résistivité électrique est une propriété intrinsèque qui peut être calculée à partir de la résistance mesurée du fil et de sa géométrie.

$$\rho = R \cdot \frac{A}{l} \quad (9)$$

Tâche 4 (2/3)

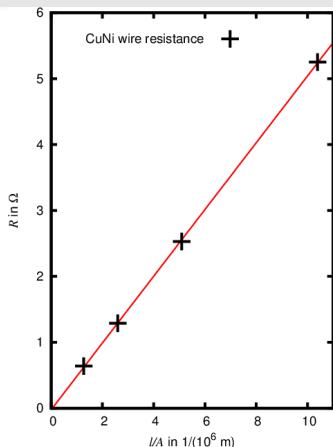


Fig. 10 : Résistance d'un fil conducteur en fonction de sa géométrie I/A .

Étant donné que la résistance a été obtenue pour plusieurs fils fabriqués dans le même matériau, la résistivité électrique du CuNi peut être déterminée avec une précision accrue en traçant la résistance R en fonction de I/A . Le facteur de proportionnalité ρ correspond à la pente de l'ajustement linéaire (comme le montre la figure 10)

$$R = \rho \frac{l}{A} = \rho \frac{l}{\pi r^2} = \rho \frac{4l}{\pi d^2} \quad (10)$$

La pente de l'ajustement dans la figure 10 donne une résistivité électrique de

$$\rho = 5.06 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{m} \quad (11)$$

qui est en très bon accord avec la valeur de la littérature pour Constantan d'environ $5.0 \cdot 10^{-7} \Omega \text{m}$

Tâche 4 (3/3)

Remarque

- Dans cette expérience, seules les valeurs de résistance des quatre résistances ont été prises en compte. En fait, la résistance des cordons utilisés, des connexions et de l'ampèremètre n'a pas pu être évitée et a été négligée car elle n'a qu'une influence mineure sur les résultats.
- Il est possible de déterminer de très petites résistances avec le pont de Wheatstone en obtenant une grande précision. Cependant, les résultats perdent en précision lorsque l'on déplace le curseur vers les positions extrêmes du potentiomètre. Pour obtenir les meilleurs résultats, le curseur doit rester proche de la position centrale et la résistance de comparaison doit être remplacée jusqu'à ce que sa magnitude corresponde à celle de la résistance inconnue. Il est possible de déterminer de très petites résistances avec le pont de Wheatstone en obtenant une grande précision.