

## TRAVAIL PRATIQUE N°3

### Mesure de résistivité

#### 1 But de l'expérience

Etude du pont de Kelvin Leads & Northrup 4285 et mesure de la résistivité de différents matériaux.

Il s'agit d'une mesure effectuée avec un instrument datant du début du XX siècle, qui reste toutefois très actuelle et qui illustre bien une application sophistiquée de la méthode de mesure par comparaison.

##### 1.1 Principe de la mesure de résistivité

La détermination de la résistivité  $\rho$  d'un matériau s'effectue à partir de la connaissance de la **résistance électrique** et des **dimensions géométriques** d'un échantillon, soit:

$$\rho = R \cdot \frac{s}{l}$$

avec  $R$  = résistance électrique,  $l$  = longueur de l'échantillon et  $s$  = superficie de la section transversale.

Si on utilise comme échantillon une barre de section circulaire et diamètre  $d$ , on a :

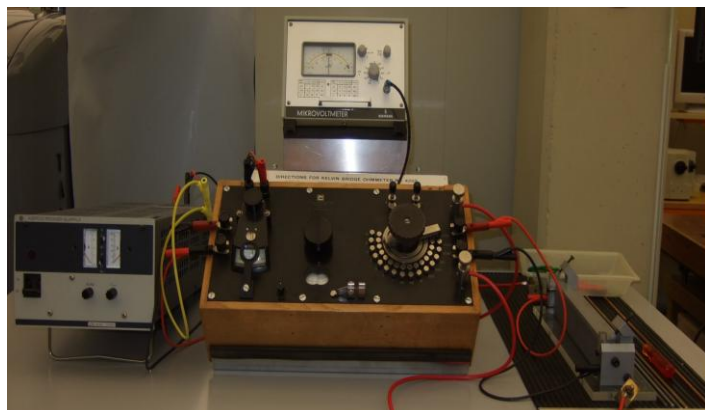
$$\rho = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot l} \cdot R$$

#### 2 Matériel et instrumentation

Une **VIDEO** présentant ce TP et toute sa procédure doit être téléchargée à l'adresse :

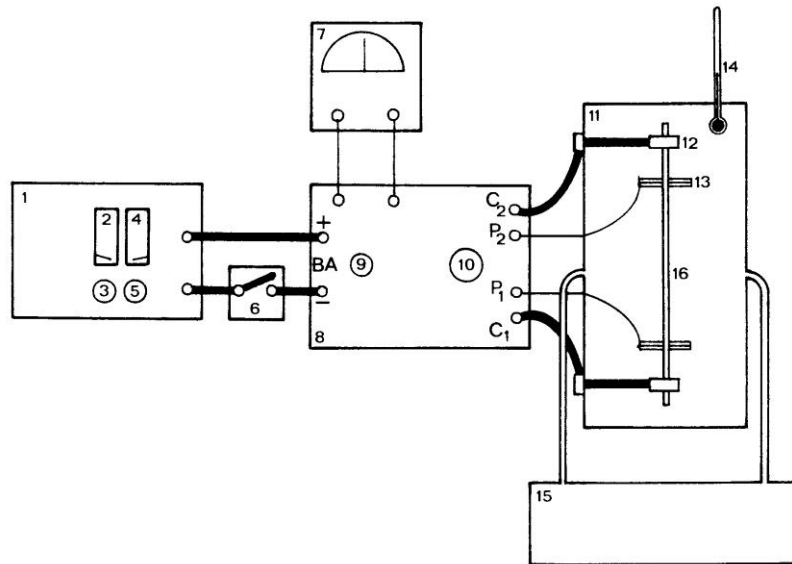
[http://php.iai.heig-vd.ch/~lzo/metrologie/video/METRO\\_18\\_resistivite.wmv](http://php.iai.heig-vd.ch/~lzo/metrologie/video/METRO_18_resistivite.wmv)

- Pont de Kelvin LN 4285
- Alimentation Kepco 0 – 6 V, 25A
- Contacteur 125 A
- Posage de précision pour la mesure de résistance par la méthode 4 fils
- Thermomètre
- Détecteur de zéro Siemens



### 3 Description de l'équipement de mesure

#### 3.1 Schéma de l'ensemble de mesure



Le schéma de l'ensemble de mesure est donné ci-dessus avec:

1	alimentation stabilisée Kepco	7	détecteur de zéro Siemens	13	couteau de prise de tension
2	voltmètre	8	Pont de Kelvin LN 4285	14	thermomètre
3	réglage tension	9	réglage fin de la résistance	15	thermostat (non utilisé)
4	ampèremètre	10	sélecteur gamme de la résistance	16	échantillon
5	réglage limitation du courant	11	Posage de mesure		
6	contacteur	12	amenée de courant		

#### 3.2 Pont de Kelvin LN 4285



Le pont de Kelvin est une variante du classique pont de Wheatstone et permet de mesurer des faibles résistances comprises entre  $0,0001 \Omega$  et  $26,6 \Omega$ . Sa complexité additionnelle est rendue nécessaire par l'exigence d'éviter des erreurs dues aux résistances des fils le long des chemins de courants entre la résistance à mesurer et celle servant de référence.

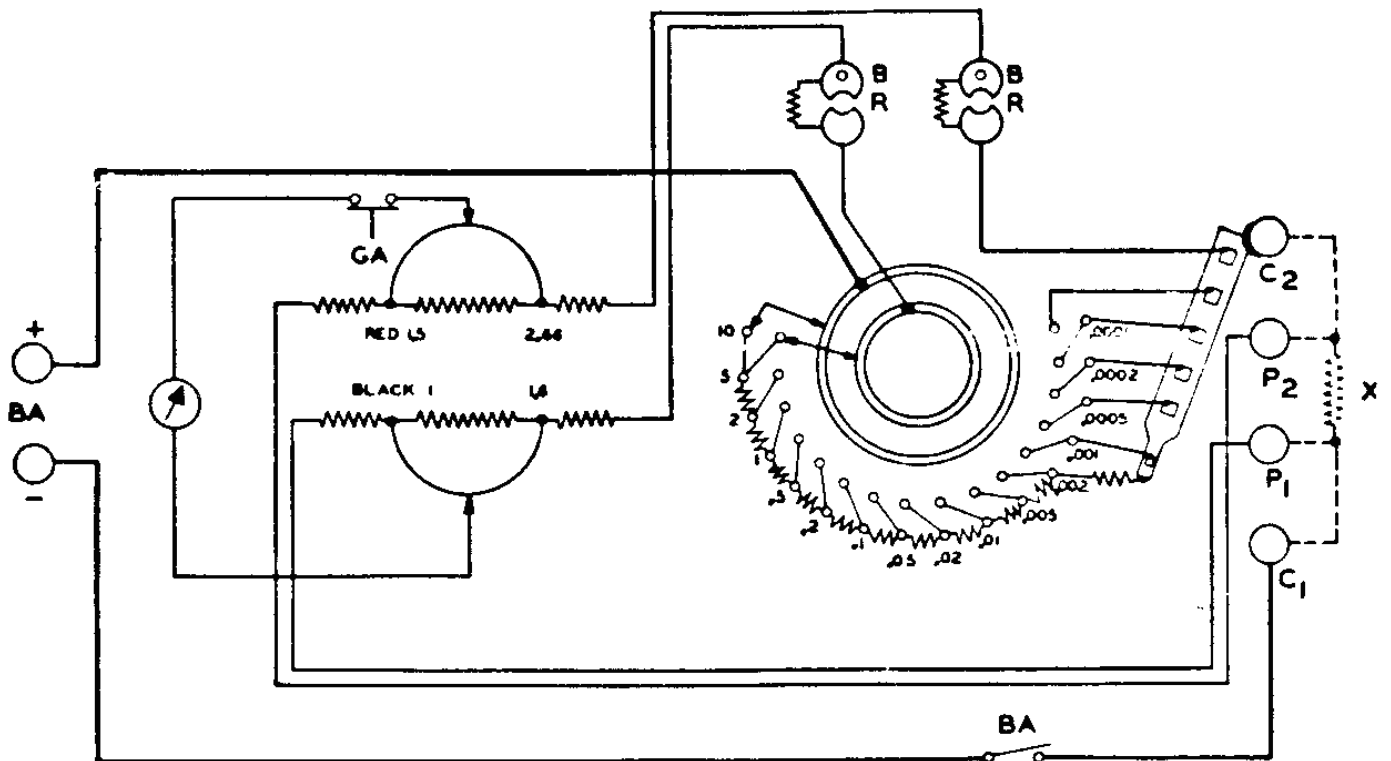
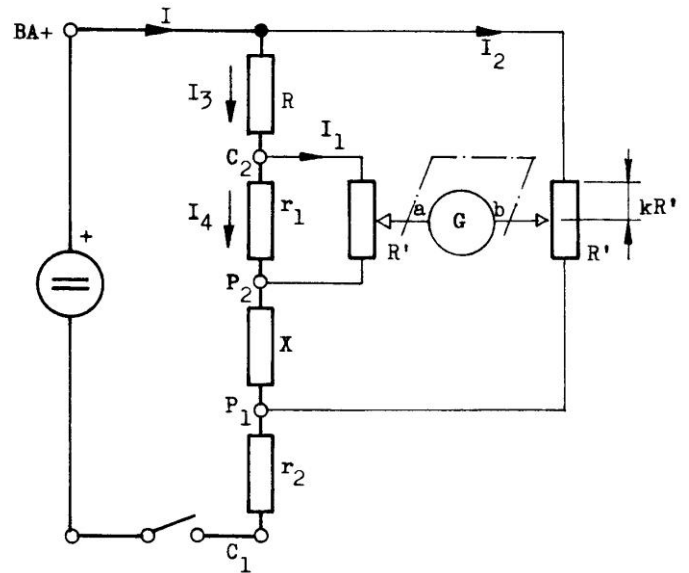
Il comprend un réseau de résistances étalons commutables et deux potentiomètres permettant de déterminer le rapport résistance à mesurer/résistance étalon.

Deux échelles sont disponibles, le passage de l'une à l'autre s'effectuant au moyen de deux clés notées BR.

La mesure de la résistance inconnue X se fait au moyen de la méthode dite des 4 fils.

Les bornes  $C_1$  et  $C_2$  sont utilisées pour amener le courant traversant ladite résistance. Etant donné que les fils d'amenée ont une certaine résistance ( $r_1$  et  $r_2$ ), la tension aux bornes de X est prise par les deux bornes  $P_1$  et  $P_2$ .

Ceci a pour but d'éviter d'introduire une erreur en mesurant une résistance qui serait la somme de X et de  $r_1+r_2$ . Les courants qui traversent les deux potentiomètres R', c'est-à-dire  $I_1$  et  $I_2$ , sont beaucoup plus petits que le courant de mesure I.



A l'équilibre, lorsque le courant traversant le galvanomètre G devient nul, la valeur de la résistance inconnue est donnée par:

$$X = R \cdot \frac{1 - k}{k}$$

**Pour des questions de sécurité et dissipation thermique, il ne faut pas dépasser les valeurs de courant données ci-après.**

**Dans la majorité des conditions d'utilisation, des courants d'environ 20% des valeurs maximales données ci-dessous donnent une sensibilité suffisante.**

Calibre ( $\Omega$ )	Courant maximum (A)	Courant de mesure (A)
0.0001	100	20
0.0002	80	16
0.0005	60	12
0.001	30	6
0.002	15	3
0.005	10	2
0.01	5	1
0.02	3	0.6
0.05	2	0.4
0.1	1.5	0.3
0.2	1.0	0.2
0.5	0.75	0.15
1	0.5	0.1
2	0.3	0.06
5	0.1	0.02
10	0.1	0.02

### 3.3 Alimentation stabilisée Kepco

Il s'agit d'une alimentation stabilisée dont la tension de sortie est ajustable entre 0 et 6 V et le courant de sortie peut être limité entre 0 et 22 A.

C'est cette dernière propriété qui doit être utilisée dans cette manipulation, la limitation de courant permettant de protéger les résistances du pont de mesure.



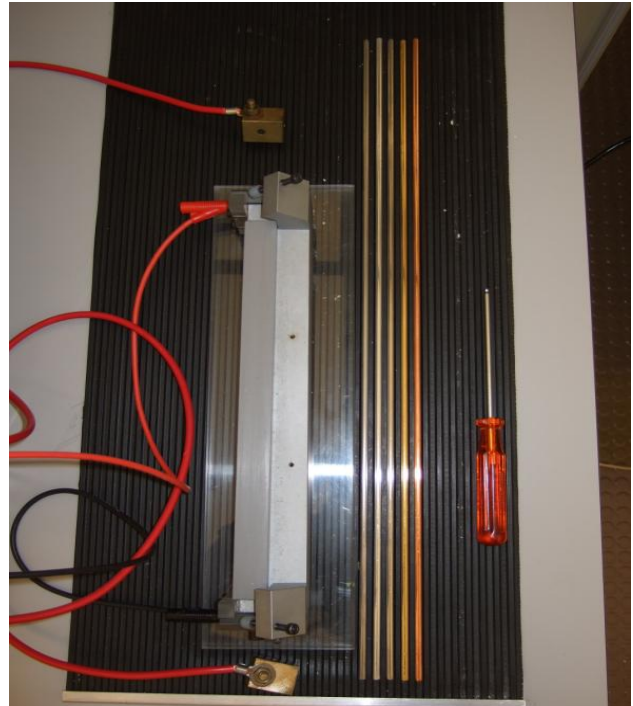
### 3.4 Posage de mesure

Posage de précision pour la mesure de résistance par la méthode 4 fils.

Ce sera sur ce posage que nous mettrons nos barres afin de les mesurer.

Son utilisation est particulièrement simple, toutefois il faut veiller à ce que les barres soient correctement mise sur l'appareil afin d'éviter des erreurs de mesures.

Dans l'enceinte de la salle de métrologie, la température est supposée constante et contrôlée. La manipulation est faite à l'air libre et la température ambiante doit être notée.



### 3.5 Détecteur de zéro

Il s'agit d'un microvoltmètre Siemens dont une vue de la face avant est donnée ci-contre.

Lors de son utilisation, il faut toujours utiliser le calibre le plus élevé, surtout si l'ordre de grandeur de la tension à mesurer est inconnu.

Puis augmenter progressivement la sensibilité en tournant le commutateur 2 et en agissant sur le potentiomètre 4.

1. Réglage mécanique du zéro de l'instrument (à vérifier avant la mise sous tension).
2. Commutateur de gamme grossier
3. Commutateur de gamme fin
4. Potentiomètre de réglage du zéro (grossier: bouton tiré; fin: bouton relâché)
5. Connecteur d'entrée:

borne supérieure:	blindage
borne gauche:	entrée -
borne droite:	entrée +





## 4 Procédure

On effectuera la mesure sur **deux barres** choisies et identifiées parmi les plusieurs à dispositions.

### 4.1 Rappel

La résistivité sera évaluée par la formule :

$$\rho = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot l} \cdot R$$

### 4.2 Mesures géométriques

#### Mesure de la longueur $l$

Cette longueur est la distance inter-couteaux.

#### Mesure du diamètre $d$

Elle consiste à mesurer le diamètre au moyen d'un **palmer** en une dizaine de points et à en prendre la moyenne.

### 4.3 Mesures électriques

Pour la procédure se **référer principalement à la vidéo**, qui explique chaque étape dans le détail.

#### Préparation

1. Polir les zones à poser sur les couteaux (les deux extrémités)
2. Eviter de trop toucher avec les doigts la partie centrale où sera effectuée la mesure

#### Montage mécanique

1. Placer la barre échantillon sur les deux vés de repos et fixer les deux brides d'amenée de courant.
2. Poser délicatement la barre sur les couteaux de prise de tension, puis la maintenir en place en serrant légèrement les deux poulets de blocage. Exercer une pression aussi faible que possible. (Si au cours de la mesure les valeurs fluctuent, il est possible de venir resserrer très légèrement les vis).

#### Réglage électrique

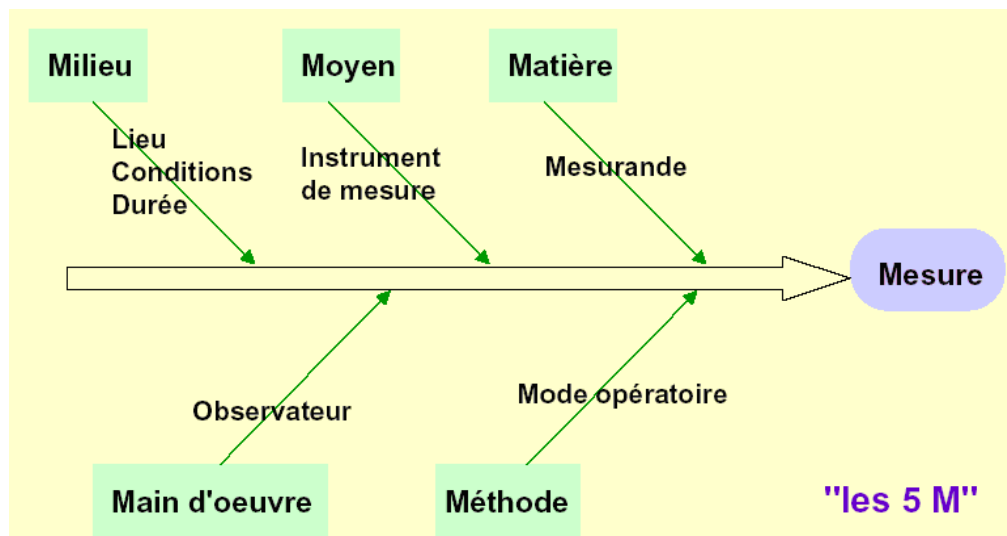
1. L'interrupteur BA du pont Kelvin doit être ouvert.
2. Enclencher le détecteur de zéro. Vérifier qu'il est allumé en mettant le commutateur de gamme grossier sur la position zéro et le commutateur de gamme fin sur la position 5  $\mu\text{V}$ . Faire le zéro avec le potentiomètre de réglage du zéro. Ensuite se mettre en position de mesure et placer le commutateur de gamme fin sur le calibre 1,5 mV.
3. Placer le sélecteur de résistance du pont de Kelvin sur le calibre 0.0001  $\Omega$  et la résistance variable en début d'échelle (la valeur 1.000 doit apparaître en face du repère).
4. Placer les deux bornes court-circuit en position B (ce qui permet d'utiliser l'échelle noire) et vérifier que les cavaliers sont bien enfoncés dans les alésages coniques.
5. Enclencher l'alimentation stabilisée et ajuster à une tension d'environ 2 V.
6. Au moyen d'un câble, effectuer un court-circuit sur sa sortie et régler la limitation de courant à 1 A.

7. Fermer le contacteur d'alimentation BA. L'indicateur de zéro doit dévier. Augmenter sa sensibilité si nécessaire.
8. Tourner le sélecteur de gamme de résistance un pas à la fois jusqu'à ce que la déviation du détecteur de zéro change de signe.
9. Revenir d'un pas en arrière sur le sélecteur de gamme.
10. Tourner le cadran variable du pont de Kelvin jusqu'à ce que le détecteur de zéro indique une déviation nulle.
11. Si l'on ne peut obtenir l'équilibre, placer les deux bornes court-circuit en position R et effectuer la balance.
12. Ajuster la limitation de courant de l'alimentation en fonction du calibre de mesure et d'après le tableau figurant à la page 4.
13. Retoucher plusieurs fois de suite la mise à zéro, en augmentant la sensibilité du détecteur d'écart.
14. Faire enfin la lecture de la résistance, qui vaut alors le produit de la gamme par l'indication du cadran.
15. Pour éviter les erreurs parasites dues à la force électromotrice de contact il faut faire circuler le courant dans le sens inverse. Pour cela il faut ouvrir le circuit via l'interrupteur BA, croiser l'alimentation, refermer l'interrupteur et refaire un zéro. Après avoir lu la valeur obtenue, la valeur finale de la résistance sera la moyenne des deux lectures.
16. Lorsque la mesure est terminée, redescendre le courant directement à 1 A pour la barre suivante et ouvrir le contacteur d'alimentation.

Refaire la même manipulation pour la barre suivante

## 5 Critique du procédé

Présenter dans le rapport une critique du procédé: indiquer systématiquement toutes les erreurs pouvant intervenir au cours du mesurage le long de toute la chaîne de mesure.



On explicite successivement, les contributions à l'erreur de mesure des **moyens**, de la **méthode de mesure**, l'impact du **milieu environnant** et de la **main d'oeuvre** (l'expérimentateur) sans oublier l'objet mesuré lui-même: le **mesurande**.

Pour le classement des différents types d'erreurs pouvant intervenir, référez-vous aussi aux principes généraux décrits au **chapitre 4 du photocopié**.

## 6 Rapport de mesure, analyse et interprétation

Les étudiants sont chargés d'enregistrer toutes les mesures afin d'en effectuer le traitement ultérieur.

Le rapport de mesure consistera en :

- Toutes les mesures effectuées sur les échantillons ainsi que le calcul de résistivité :

Barre n°	Matériau	Diamètre moyen	Longueur	Résistance moyenne	Résistivité
1					
2					

- Critique du procédé.
- **Calcul de l'incertitude** sur les valeurs de résistivité obtenues, selon la méthode illustrée dans le chapitre 7 du polycopié du cours.

## 7 Distribution du travail

Ce TP peut être réalisé en équipe de 2 ou 3 personnes ou encore individuellement.

Le rapport peut être rédigé en se partageant le travail mais il devra être revu et corrigé avant livraison par tous les membres.

Il est en tout cas important que **tous les membres de l'équipe maîtrisent tous les aspects**, à la fois pratiques et théoriques, de ce TP.

On rappelle que l'examen final de métrologie inclura des questions en rapport avec les TP effectués.