

CORRECTION TP Multimètres - Mesures de résistances -

Introduction

La mesure d'une résistance s'effectue à l'aide d'un multimètre.

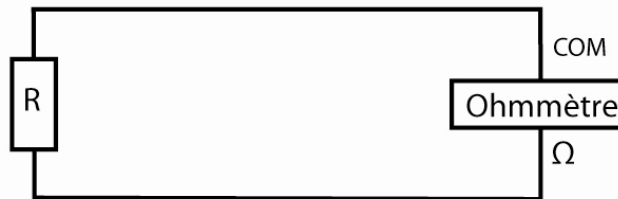
Utilisé en **mode ohmmètre**, il permet une **mesure directe** de **résistances hors circuit**. Dans la première partie du TP nous allons comparer deux ohmmètres (précision de chacun, choix de l'instrument suivant la précision de la résistance donnée par le fabricant).

Lorsque **la résistance est alimentée** au sein d'un circuit, l'utilisation d'un ohmmètre n'est plus envisageable. La **mesure de la résistance se fait de façon indirecte** : mesure de la tension à ses bornes (multimètre en position **voltmètre**) et du courant la traversant (multimètre en position **ampèremètre**). A l'aide de la **loi d'ohm** ($U=RI$ en convention récepteur), on en déduit la résistance. Dans la seconde partie du TP nous allons comparer deux méthodes de mesure (montages courte et longue dérivation) afin de déterminer à quelle catégorie de résistances elles sont adaptées (détermination et comparaison des erreurs accidentelles et systématiques).

I. Mesure directe de résistors avec ohmmètre - comparaison de deux instruments de mesure

• Description des manipulations

- Résistances : 68 Ω (avec code couleurs) - 1k Ω (résistance variable $\times 100$ – position 10).
- Multimètres : ELIX (boîtier jaune et noir) - AOIP ou METRIX. Dans chaque cas, on branche les bornes COM et Ω aux bornes de la résistance (attention au branchement pour la résistance variable car 3 bornes possibles). On lit la valeur mesurée à l'écran en ayant pris soin de choisir **le calibre le mieux adapté à la mesure (le plus petit possible mais supérieur à la mesure)** pour minimiser l'incertitude de mesure. Cette dernière sera calculée à l'aide de la notice des multimètres.



• Présentation des résultats

Valeur de résistance mesurée à l'ohmmètre R_m

ohmmètre	R= 68 Ω			R= 1 k Ω		
	ELIX	AOIP	METRIX	ELIX	AOIP	METRIX
calibre	200 Ω	200 Ω	500 Ω	2 k Ω	2 k Ω	5 k Ω
Précision	0,8% lecture + 3 ch	0,1% lecture + 2d	0,07% lecture + 5UR	0,8% lecture + 1 ch	0,1% lecture + 2d	0,07% lecture + 2UR
Valeur lue à l'écran	68,4 Ω	67,71 Ω	67,87 Ω	1,002 k Ω	1,0014 k Ω	0,9990 k Ω
Incertitude absolue ΔR	$\sim 0,9 \Omega$	$\sim 0,09 \Omega$	$\sim 0,1 \Omega$	$\sim 0,009 \text{ k}\Omega$	$\sim 0,001 \text{ k}\Omega$	$\sim 0,0009 \text{ k}\Omega$
Valeur mesurée R_m	$(68,4 \pm 0,9)\Omega$	$(67,71 \pm 0,09)\Omega$	$(67,9 \pm 0,1)\Omega$	$(1,002 \pm 0,009)\text{k}\Omega$	$(1,001 \pm 0,001)\text{k}\Omega$	$(0,9990 \pm 0,0009)\text{k}\Omega$
Incertitude relative ou précision ($\frac{\Delta R}{R} * 100$)	$\sim 1\%$	$\sim 0,1\%$	$\sim 0,2\%$	$\sim 0,9\%$	$\sim 0,1\%$	$\sim 0,1\%$

Remarques :

- **Précision** : ch (chiffre) ou UR (unité de représentation) ou d (digit) - plus petit chiffre affiché à l'écran.
- **Valeur mesurée R_m** : on peut aussi présenter les résultats sous la forme d'encadrement :
 $\text{valeur lue} - \Delta R \leq R_m \leq \text{valeur lue} + \Delta R$ de façon équivalente à $R_m = \text{valeur lue} \pm \Delta R$

On constate pour chaque mesure de résistance que les multimètres AOIP et METRIX sont plus précis que le multimètre ELIX (environ 10 fois plus précis).

Valeur de résistance donnée par le fabricant R_f

	R= 68 Ω	R= 1 kΩ
Précision	5% (anneau or)	0,2%
Incertitude absolue	$\sim 4 \Omega$	$\sim 2 \Omega$
R_f	$(68 \pm 4)\Omega$	$(1,000 \pm 0,002)k\Omega$

On constate que la résistance de 1 k Ω est plus précise que celle de 68 Ω .

- **Analyse et discussion des résultats**

Pour chaque mesure de résistance, les valeurs mesurées concordent avec celles données par le fabricant (les encadrements de R_m et de R_f ont des domaines communs).

En ce qui concerne la résistance variable de 1k Ω , la précision du multimètre ELIX est moins importante que celle du fabricant alors que celle des multimètres AOIP ou METRIX est du même ordre de grandeur. Ces derniers multimètres sont donc mieux adaptés à la mesure de cette résistance.

Pour la résistance de 68 Ω , les multimètres (ELIX et AIOIP ou METRIX) ont une précision plus grande que celle du fabricant. L'utilisation des divers multimètres est dans ce cas indifférente. Cependant, on préférera utiliser le multimètre ELIX (moins précis donc moins coûteux).

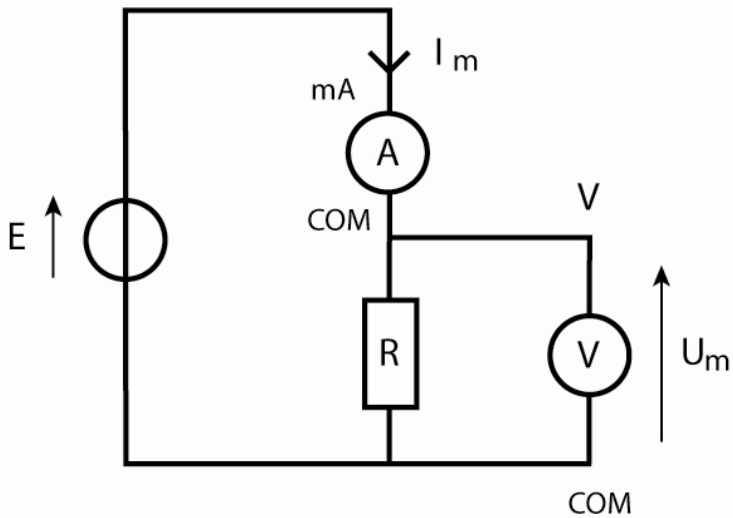
II. Mesure indirecte de résistors avec voltmètre et ampèremètre - comparaison de deux méthodes de mesure

- **Description des manipulations**

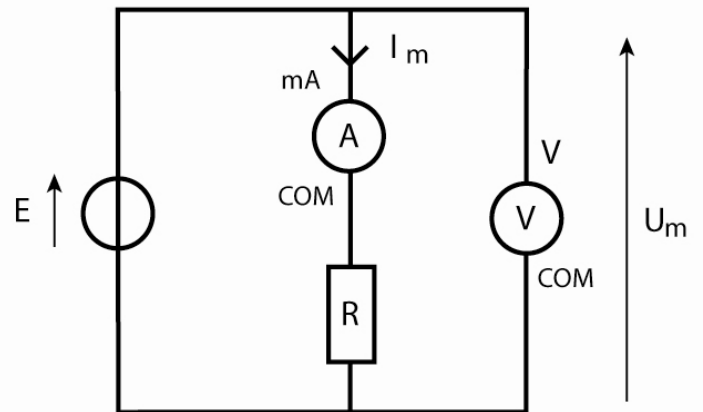
- Résistance : $R=1k\Omega$ (résistance variable $\times 100 - position 10$).
- Alimentation stabilisée (tension à vide $E \approx 4 \text{ V}$ - courant de court circuit à $I_0 \approx 0,08A$) fonctionnant en générateur de tension ($R > R_{lim} = \frac{E}{I_0} = 50\Omega$).
- Multimètres :
 - ELIX (boîtier jaune et noir) utilisé en voltmètre (branché en dérivation - bornes COM et V)
 - AOIP ou METRIX utilisé en ampèremètre (branché en série - bornes COM et mA)

Comme précédemment, on lit la valeur mesurée à l'écran en ayant pris soin de choisir **le calibre le mieux adapté à la mesure** pour minimiser l'incertitude de mesure. Cette dernière sera calculée à l'aide de la notice des multimètres.

Montage courte dérivation



Montage longue dérivation



- Présentation des résultats**

Valeur de l'intensité mesurée à l'ampèremètre **AOIP** et de la tension mesurée au voltmètre

Montages	Courte dérivation		Longue dérivation	
	Intensité	Tension	Intensité	Tension
Calibre	20 mA	20V	20 mA	20V
Précision	0,2% lecture + 2d	0,5% lecture + 1 ch	0,2% lecture + 2d	0,5% lecture + 1 ch
Valeur lue à l'écran	4,012mA	4,03V	4,005mA	4,07V
Incertitude absolue	$\Delta I_m \sim 0,01mA$	$\Delta U_m \sim 0,03V$	$\Delta I_m \sim 0,01mA$	$\Delta U_m \sim 0,03V$
Valeur mesurée	$I_m = (4,01 \pm 0,01)mA$	$U_m = (4,03 \pm 0,03)V$	$I_m = (4,01 \pm 0,01)mA$	$U_m = (4,07 \pm 0,03)V$
Incertitude relative ou précision	$\frac{\Delta I_m}{I_m} \sim 0,3\%$	$\frac{\Delta U_m}{U_m} \sim 0,7\%$	$\frac{\Delta I_m}{I_m} \sim 0,3\%$	$\frac{\Delta U_m}{U_m} \sim 0,7\%$

Valeur de l'intensité mesurée à l'ampèremètre **METRIX** et de la tension mesurée au voltmètre

Montages	Courte dérivation		Longue dérivation	
	Intensité	Tension	Intensité	Tension
Calibre	5 mA	20V	5 mA	20V
Précision	0,2% lecture + 2UR	0,5% lecture + 1 ch	0,2% lecture + 2UR	0,5% lecture + 1 ch
Valeur lue à l'écran	3,7172mA	3,71V	3,7165mA	4,13V
Incertitude absolue	$\Delta I_m \sim 0,008mA$	$\Delta U_m \sim 0,03V$	$\Delta I_m \sim 0,008mA$	$\Delta U_m \sim 0,03V$
Valeur mesurée	$I_m = (3,717 \pm 0,008)mA$	$U_m = (3,71 \pm 0,03)V$	$I_m = (3,717 \pm 0,008)mA$	$U_m = (4,13 \pm 0,03)V$
Incertitude relative ou précision	$\frac{\Delta I_m}{I_m} \sim 0,2\%$	$\frac{\Delta U_m}{U_m} \sim 0,8\%$	$\frac{\Delta I_m}{I_m} \sim 0,2\%$	$\frac{\Delta U_m}{U_m} \sim 0,8\%$

A l'aide de la loi d'ohm on peut déterminer la valeur de la résistance : $R_m = \frac{U_m}{I_m}$.

L'incertitude relative sur la valeur de la résistance vérifiée : $\frac{\Delta R_m}{R_m} = \frac{\Delta U_m}{U_m} + \frac{\Delta I_m}{I_m}$

Valeur de la résistance calculée à l'aide de la loi d'ohm et des mesures expérimentales

Montages	Courte dérivation		Longue dérivation	
	AOIP	METRIX	AOIP	METRIX
Ampèremètre				
Valeur calculée	1,005 kΩ	0,998 kΩ	1,015 kΩ	1,111 kΩ
Incertitude relative ou précision ($\frac{\Delta R_m}{R_m} \cdot 100$)	~ 1%	~ 1%	~ 1%	~ 1%
Incertitude absolue ΔR_m	~ 10 Ω	~ 10 Ω	~ 10 Ω	~ 10 Ω
R_m	(1,01 ± 0,01)kΩ	(1,00 ± 0,01)kΩ	(1,02 ± 0,01)kΩ	(1,11 ± 0,01)kΩ

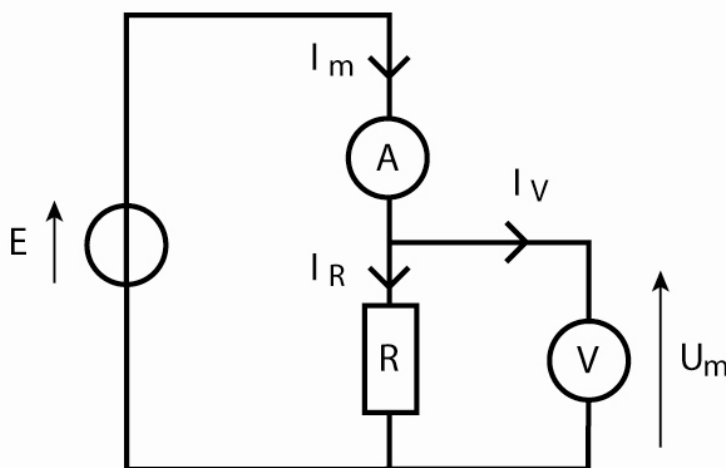
On constate que pour chaque montage (quel que soit l'ampèremètre utilisé), les incertitudes de construction dues aux appareils de mesures (voltmètre et ampèremètre) sont de l'ordre de 1%.

Ces erreurs accidentelles que l'on vient d'estimer ne peuvent être corrigées, elles sont dues à la précision des appareils.

• Analyse et discussion des résultats

Un appareil de mesure perturbe le circuit. En effet, un ampèremètre possède une résistance interne et introduit une chute de tension dans un circuit lorsqu'il est placé en série. De même, un voltmètre placé en dérivation introduit une chute de courant du fait de sa résistance interne qui n'est pas infini. **Ces perturbations génèrent des erreurs systématiques sur les mesures que l'on peut calculer et éliminer.**

➤ Détermination de l'erreur systématique introduit par le voltmètre dans le montage courte dérivation



Du fait de sa résistance interne non infini $R_V = 10M\Omega$ (voir notice), le courant traversant le voltmètre n'est pas nul (I_V). Ainsi ce n'est pas le courant mesuré par l'ampèremètre (I_m) qui traverse la résistance mais le courant $I_R = I_m - I_V$ d'après la loi des nœuds. Par conséquent $R_m = \frac{U_m}{I_m} \neq R = \frac{U_m}{I_R}$.

Calcul de R: $I_R = I_m - I_V \Rightarrow \frac{U_m}{R} = \frac{U_m}{R_m} - \frac{U_m}{R_V} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{R_m} - \frac{1}{R_V} \Rightarrow R = \frac{R_m \cdot R_V}{R_V - R_m}$

Estimation de l'erreur systématique (erreur relative sur la mesure de R) : $\frac{|R_m - R|}{R_m} \approx \frac{|R_m - R|}{R}$

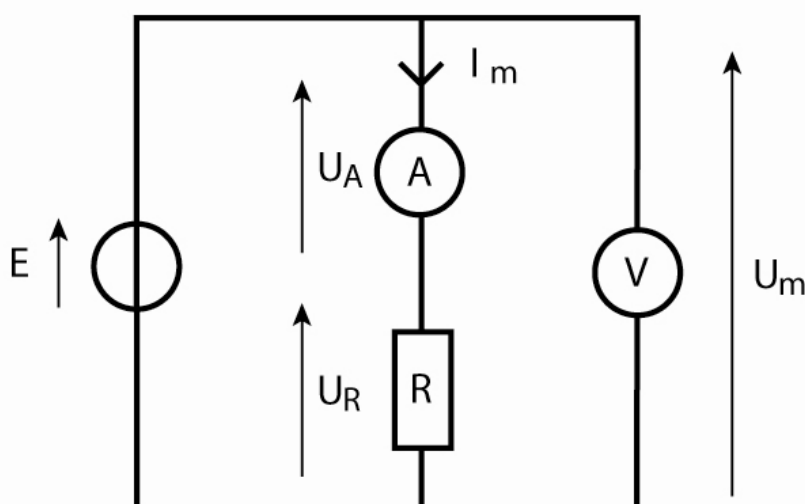
Ampèremètre	AOIP	METRIX
Calcul de R	1,011 kΩ	1,001 kΩ
Erreur systématique $\left(\frac{ R_m-R }{R_m} \approx \frac{ R_m-R }{R}\right)*100$	~ 0,1%	~ 0,1%

On constate que l'erreur systématique introduite par le voltmètre est 10 fois moins importante que l'erreur accidentelle due à la précision des appareils de mesure. On peut donc la négliger dans notre cas.

En effet, $R = 1k\Omega \ll R_V = 10M\Omega$ (1000 fois plus petite) donc $R \approx R_m$.

Le montage courte dérivation est donc adapté aux petites résistances comparées à la résistance interne du voltmètre ($R \ll R_V$).

- Détermination de l'erreur systématique introduit par l'ampèremètre dans le **montage longue dérivation**



Du fait de sa résistance interne non nulle R_A (voir notice), la tension aux bornes de l'ampèremètre n'est pas nulle (U_A). Ainsi ce n'est pas la tension mesurée par le voltmètre (U_m) qui est aux bornes de la résistance mais la tension $U_R = U_m - U_A$ d'après la loi des mailles. Par conséquent $R_m = \frac{U_m}{I_m} \neq R = \frac{U_R}{I_m}$.

Calcul de R: $U_R = U_m - U_A \Rightarrow RI_m = R_m I_m - R_A I_m \Rightarrow \boxed{R = R_m - R_A}$

Estimation de l'erreur systématique (erreur relative sur la mesure de R) : $\frac{|R_m-R|}{R_m} \approx \frac{|R_m-R|}{R}$

Détermination de R_A : La notice indique la chute de tension (CT) associée à chaque calibre d'intensité. La résistance interne de l'ampèremètre s'obtient par la loi d'ohm : $R_A = \frac{CT}{calibre}$

Ampèremètre	AOIP	METRIX
Résistance interne R_A	CT=300mV - calibre 20mA $R_A = 15 \Omega$	CT=700mV - calibre 5mA $R_A = 140 \Omega$
Calcul de R	1,000kΩ	0,971 kΩ
Erreur systématique $\left(\frac{ R_m-R }{R_m} \approx \frac{ R_m-R }{R}\right)*100$	~ 2 %	~ 13 %

Avec l'ampèremètre METRIX, la chute de tension est plus importante ce qui génère une résistance interne de 140 Ω environ 10 fois supérieure à celle de l'ampèremètre AOIP.

L'erreur systématique de l'ampèremètre METRIX est plus importante que celle de l'ampèremètre AOIP.

On constate que l'erreur systématique introduite par le voltmètre est du même ordre de grandeur (AOIP) voir 10 fois plus importante (METRIX) que l'erreur accidentelle due à la précision des appareils de mesure. On ne peut donc pas la négliger dans notre cas.

En effet, $R = 1k\Omega > R_A$ (moins de 100 fois plus grande) n'est pas très supérieure à la résistance interne de l'ampèremètre donc $R \neq R_m$.

Le montage longue dérivation est donc adapté aux grandes résistances comparées à la résistance interne de l'ampèremètre ($R \gg R_A$).

Conclusion

Sur l'exemple de la mesure de résistance (hors circuit - partie I- ou dans un circuit alimenté - partie II -), nous avons été confrontés à différentes sources d'erreurs que l'on a pu estimer et parfois corriger :

- Les erreurs accidentelles résultant de la précision des appareils de mesure et des résistances. Grace à leurs estimations on a pu déterminer l'ohmmètre le plus adapté à la mesure d'une résistance (objectif de la première partie).

- La détermination des erreurs systématiques (perturbation dues aux résistances internes du voltmètre et de l'ampèremètre) et leur comparaison aux erreurs accidentelles nous a permis de déterminer le type de montage adapté à la mesure des grandes et des petites résistances (objectif de la deuxième partie).

La mesure directe d'une résistance nécessite de la mettre hors circuit. Si cela est possible, **il s'agit de la méthode la plus rapide et pratique**. Si l'on ne peut couper l'alimentation du circuit, la mesure indirecte d'une résistance à l'aide de la loi d'ohm reste la seule possible. **Il faut alors choisir le montage qui minimisera les erreurs systématiques introduites par les instruments de mesure.**