

Chapitre 9

Mesures en électronique

Mesures : principes de base

Notions d'incertitude

Lors d'une mesure de grandeur électrique ...

... *il est impossible d'obtenir une valeur exacte.*

« **Erreur** » est le terme employé pour designer la différence entre la valeur mesurée et la valeur exacte. Mais comme la valeur exacte est impossible à connaître, il n'est pas possible de déterminer l'erreur commise. Le résultat final est donc toujours incertain. C'est pourquoi les ingénieurs parlent plutôt **d'incertitude de mesure** au lieu d'erreur de mesure.

Types d'incertitude

- ✓ *Incertitude absolue* : Exemple : longueur d'un objet : 153 mm **à 2 mm près.**
 $151 \text{ mm} < \text{longueur} < 155 \text{ mm}$ ou $\text{longueur} = 155 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$
- ✓ *Incertitude relative* : L'incertitude relative nous donne une idée de la précision de la mesure car 2 mm n'est pas assez évocateur :

Exemple: Mesurer 153 mm à 2 mm près donne une incertitude relative de $2/153 = 0.013$ soit 1.3%

- Mesurer à 2 mm près une longueur de câble de 15 cm :
 - précision normale car l'erreur est acceptable : 1.3%.
- Mesurer à 2 mm près une longueur de câble de 10 m :
 - très précis car l'incertitude relative est de 0.02 %.
- Mesurer à 2 mm près une longueur de câble de 20 mm :
 - peu précis car l'incertitude relative est de 10 %.

Nombre de chiffres significatifs

Puisque les valeurs correspondant aux grandeurs étudiées en physique ne sont jamais exactes, il convient de prêter attention au nombre de chiffres qui les expriment.

Exemple : Si vous partagez en 3 parties égales un fil de 100 cm de longueur mesurée à 1 cm près ; est-il correct de dire que chaque morceau mesure 33.33 cm ?

Solution : La longueur du fil est comprise entre 99 cm et 101 cm, ce qui donne un intervalle de 33 cm à 33.7 cm pour chaque morceau. Il faudra alors écrire que la longueur de chaque partie est 33.3 cm. Le 4ème chiffre a été supprimé car *il n'est pas significatif*. Il n'y a que 3 chiffres significatifs.

Nombre de chiffres significatifs

Le terme « significatif » suit des règles précises quand il s'agit de *valeurs mesurées* :

- Tous les chiffres non nuls sont significatifs :

1542.3 5 chiffres significatifs

15.423 5 chiffres significatifs (la décimale n'intervient pas)

- Les zéros placés à l'intérieur du nombre ou à la fin du nombre, après la décimale, sont toujours significatifs

187.50 5 chiffres significatifs

187.5 4 chiffres significatifs.

- Donc 187.50 et 187.5 ne sont pas identiques, le premier est plus précis.

Nombre de chiffres significatifs

Le terme « significatif » suit des règles précises quand il s'agit de *valeurs mesurées* :

- Les zéros placés au début du nombre ne sont jamais significatifs

0.52 2 chiffres significatifs

0.0052 2 chiffres significatifs

- Les zéros placés à la fin d'un nombre sans virgule peuvent être ou ne pas être significatifs

200 mA 1 ou 2 ou 3 chiffres significatifs

- Pour sortir de l'ambiguité, changer d'unité : 0.20 A 2 chiffres significatifs

 0.200 A 3 chiffres significatifs

Arrondi

Pour obtenir un nombre correct de chiffres significatifs il faut arrondir certains résultats. On garde alors le nombre de chiffres significatifs désiré. Si le premier chiffre délaissé est égal à 5, 6, 7, 8 ou 9 on ajoute une unité au dernier chiffre significatif (avec une retenue éventuelle).

- 527.3975 s'arrondit à
- 527.398 avec 6 chiffres significatifs
 - 527.40 avec 5 chiffres significatifs
 - 527.4 avec 4 chiffres significatifs
 - 527 avec 3 chiffres significatifs
 - 530 avec 2 chiffres significatifs
 - 500 avec 1 chiffre significatif

Classe de précision des appareils de mesure

La classe d'un appareil correspond à la valeur du rapport entre la plus grande erreur possible sur l'étendue de mesure.

$$\text{Classe} = 100 * \frac{\text{Plus grande erreur possible}}{\text{Etendue de mesure}}$$

L'utilisateur d'un appareil de mesure (ampèremètre, voltmètre...) a besoin de savoir quelle confiance il doit accorder à son appareil.

Le fabricant va lui indiquer, en guise de garantie, la classe de précision.

Classe de précision des appareils de mesure

Classe I Matériel ayant une isolation fonctionnelle et comportant l'ensemble des dispositions permettant de relier ses parties métalliques accessibles à un conducteur de protection (mise à la masse).

Exemple : un lave-linge.

Classe II Matériel dont les parties accessibles sont séparées par une isolation renforcée et ne comportant pas de dispositions permettant de relier les parties métalliques accessibles à un conducteur de protection. Sur ce type d'appareil un symbole de type double carré est présent, donc il ne faut surtout pas le relier à la masse.

Exemple : sèche cheveux en matière plastique, radiateur soufflant de salle de bain en matière plastique...

Classe III Matériel prévu pour être alimenté en très basse tension de sécurité et n'ayant aucun circuit fonctionnant sous une tension supérieure.

Exemple : perceuse avec transformateur ...

Classe de précision des appareils de mesure

Exemple : Un ampèremètre de classe 1 est utilisé sur le calibre 500 mA. Il donne une mesure de 240 mA.

Classe 1 veut dire que l'incertitude relative sur une mesure égale au calibre (500 mA) est de 1 % ...

... soit une incertitude absolue de $500 \text{ mA} \times (1/100) = 5 \text{ mA}$

Cette incertitude absolue s'applique à toutes les mesures effectuées sur ce calibre.

La valeur exacte de la mesure est donc: $235 \text{ mA} < \text{intensité} < 245 \text{ mA}$

Classe de précision des appareils de mesure

Note : Il faut remarquer que les mesures les plus précises sont celles qui sont les plus grandes (les plus proches du calibre).

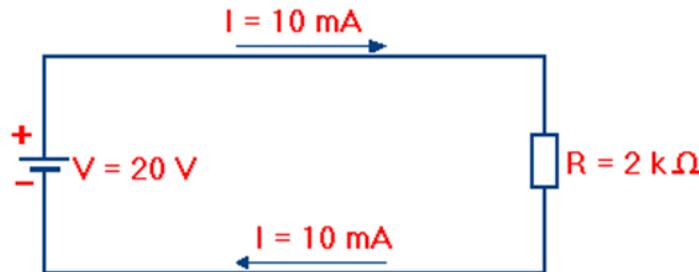
Note : Les appareils numériques plus généralement plus précis que les appareils analogiques. Mais leur affichage peut faire illusion : Pour une mesure de 125.3 mA effectuée sur un appareil numérique de classe 0.5 utilisé sur le calibre 200 mA, l'incertitude absolue est $0.5 \times 200 \text{ mA} = 1 \text{ mA}$.

L'affichage des 1/10 (0.1) est donc illusoire puisque la valeur exacte est comprise entre 124.3 mA et 126.3 mA.

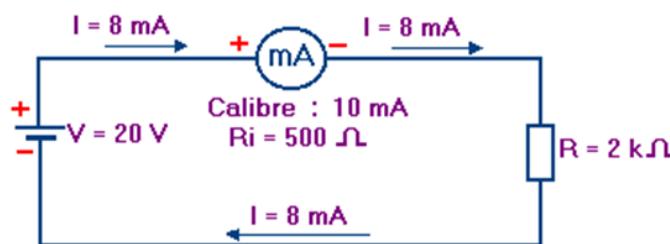
Note : Il ne faut pas confondre la résolution de l'appareil (0.1 mA) et l'incertitude absolue (1 mA)

Erreur de mesure due à l'introduction d'un ampèremètre dans le circuit

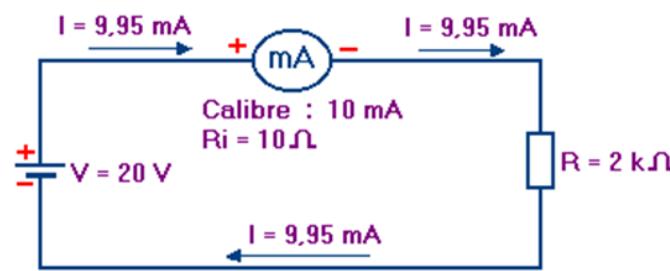
a)



b)



c)



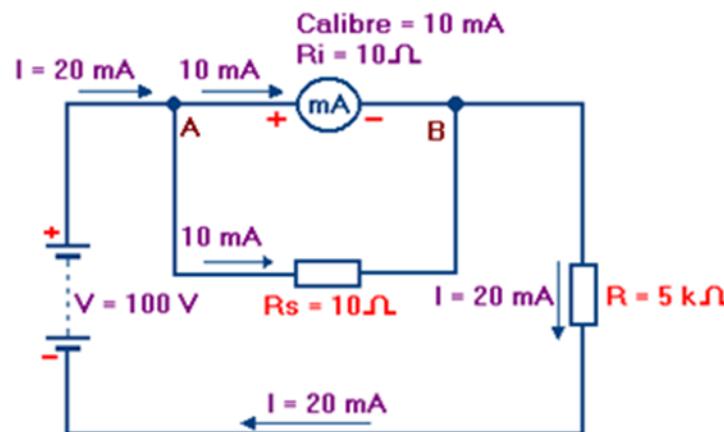
Mesurons le courant qui circule dans le circuit a) : $20 \text{ V} / 2 \text{ k}\Omega = 10 \text{ mA}$.

Si on utilise un milliampèremètre :

- de calibre de 10 mA et de résistance interne (r) 0.5 kΩ, le courant b) sera de : $20 \text{ V} / (2 + 0.5) \text{ k}\Omega = 8 \text{ mA}$.
- de calibre de 10 mA et de résistance interne (r) 10 Ω, le courant c) sera de : $20 \text{ V} / (2 + 0.01) \text{ k}\Omega = 9.95 \text{ mA}$.

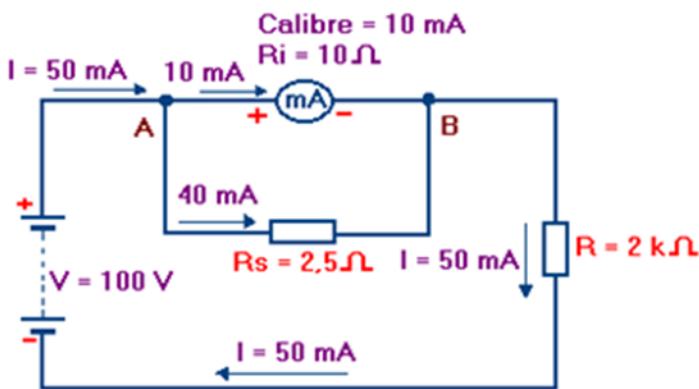
Il faut toujours choisir un ampèremètre de qualité (résistance faible – de l'ordre de quelques Ω) !!

Erreur de mesure due à l'introduction d'un galvanomètre dans le circuit



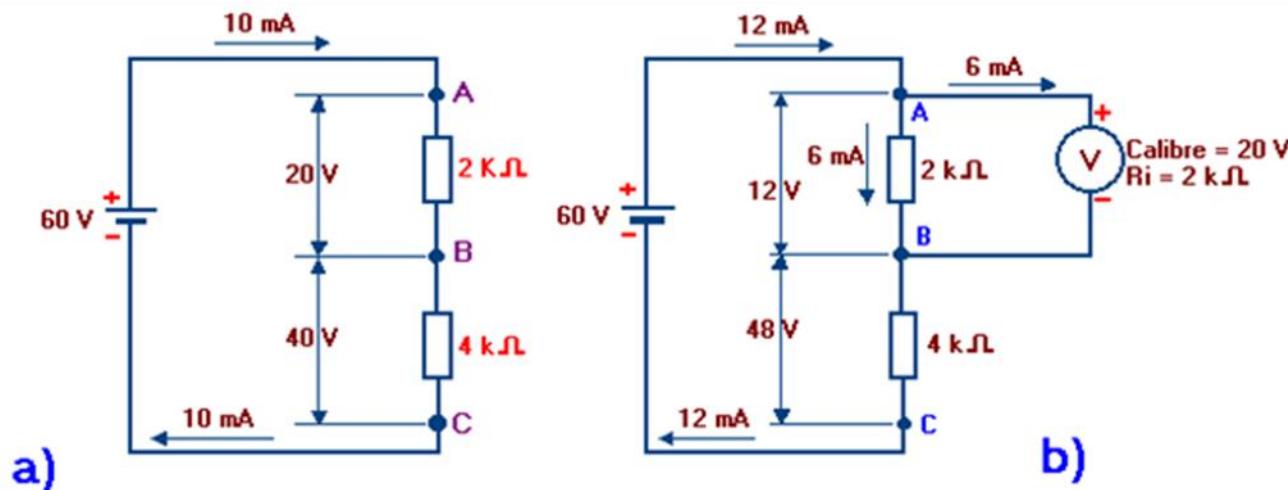
Avec un galvanomètre + résistance shunt R_s
(utilisé en tant qu'ampèremètre):

S'il affiche 10 mA :



- $R_s = 10 \Omega$, le courant réel parcourant la résistance R est de : **$I = 20 \text{ mA}$**
- $R_s = 2.5 \Omega$, le courant réel parcourant la résistance R est de : **$I = 50 \text{ mA}$**

Erreur de mesure due à l'introduction d'un voltmètre dans le circuit



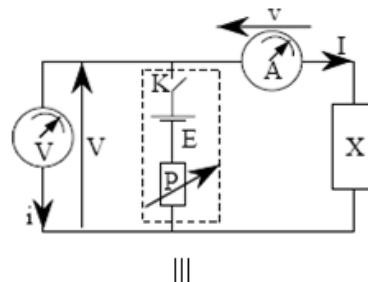
Pour mesurer la tension de 20 V aux bornes de la résistance de 2 kΩ on utilise un voltmètre de calibre 20 V et de résistance interne de 2 kΩ.

Comme on le branche en parallèle avec la résistance,
il affiche $6 \text{ mA} * 2 \text{ k}\Omega = 12 \text{ V}$ au lieu de **20 V !!**

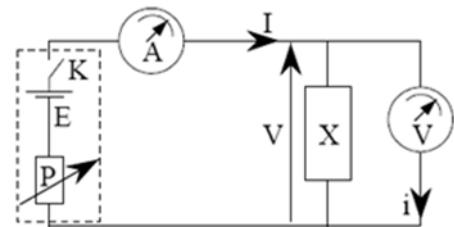
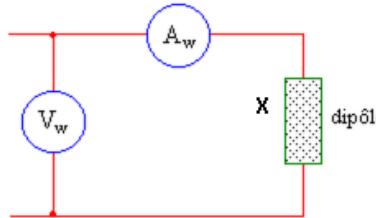
Il faut toujours choisir un voltmètre de qualité (résistance élevée – de l'ordre du MΩ) !!

Erreur de mesure due à l'introduction d'un voltmètre + un ampèremètre

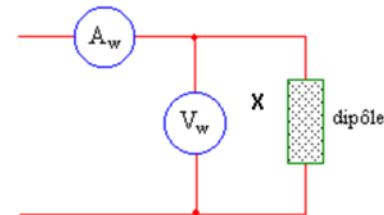
Pour mesurer le courant et la tension aux bornes d'une résistance inconnue, il existe deux montages selon la position du voltmètre vis-à-vis de l'ampèremètre



Montage amont



Montage aval



- Notons par V_e et I_e les valeurs « vraies » de la tension aux bornes de la résistance inconnue X et du courant qui parcourt la résistance inconnue X .
- Notons par V_m et I_m les valeurs « mesurées » telles que lues respectivement sur le voltmètre et l'ampèremètre.

Erreur de mesure due à l'introduction d'un voltmètre + un ampèremètre

Montage amont

$$I_e = I_m \quad \rightarrow \quad \Delta I = 0$$

En notant par r_p la résistance de l'ampèremètre, nous avons :

$$V_m = V_e + V_a = (X + r_p)I_e = X_a I_e$$

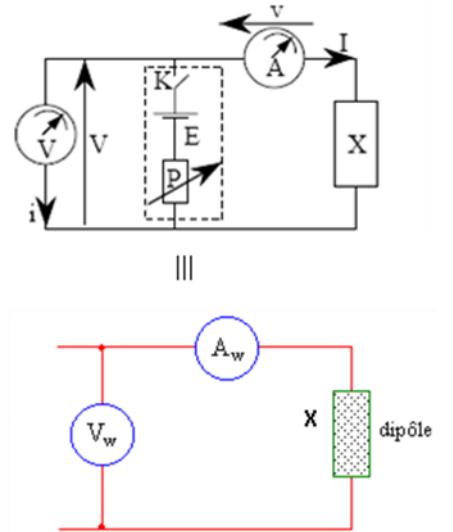
où V_a est la tension aux bornes de l'ampèremètre et X_a la valeur approchée de la résistance inconnue X . Erreur minimale :

$$\frac{V_m - V_e}{V_e} = \frac{X_a}{X} = \frac{X + r_p}{X} = 1 + \frac{r_p}{X}$$

Delà, l'erreur est minimal si

$$r_p \ll X$$

Comme la résistance d'un ampèremètre est usuellement faible, le montage **amont** est donc intéressant pour des valeurs de résistances X élevées.



Erreur de mesure due à l'introduction d'un voltmètre + un ampèremètre

Montage aval

$$V_e = V_m \rightarrow \Delta V = 0$$

En notant par r_v la résistance du voltmètre, nous avons :

$$I_m = I_e + I_v = \left(\frac{1}{X} + \frac{1}{r_v} \right) V_e = \frac{1}{X_a} V_e$$

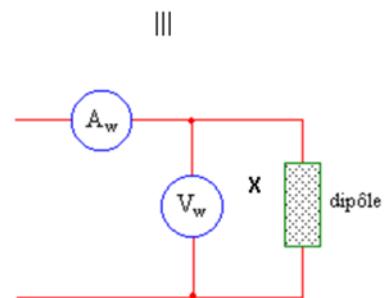
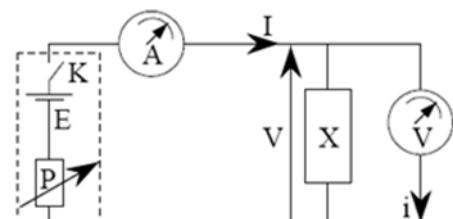
où I_v est le courant parcourant le voltmètre et X_a la valeur approchée de la résistance inconnue X . Erreur minimale :

$$\frac{I_m - I_e}{I_e} = \frac{\frac{1}{r_v}}{\frac{1}{X} + \frac{1}{r_v}} = \frac{1}{r_v} \frac{X r_v}{X + r_v} = \frac{X}{X + r_v}$$

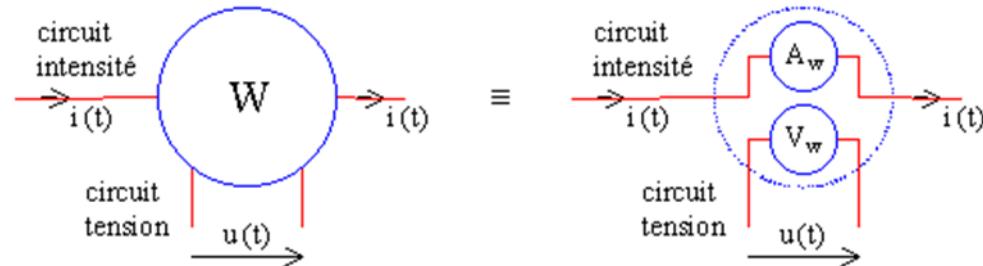
Delà, l'erreur est minimal si

$$r_v \gg X$$

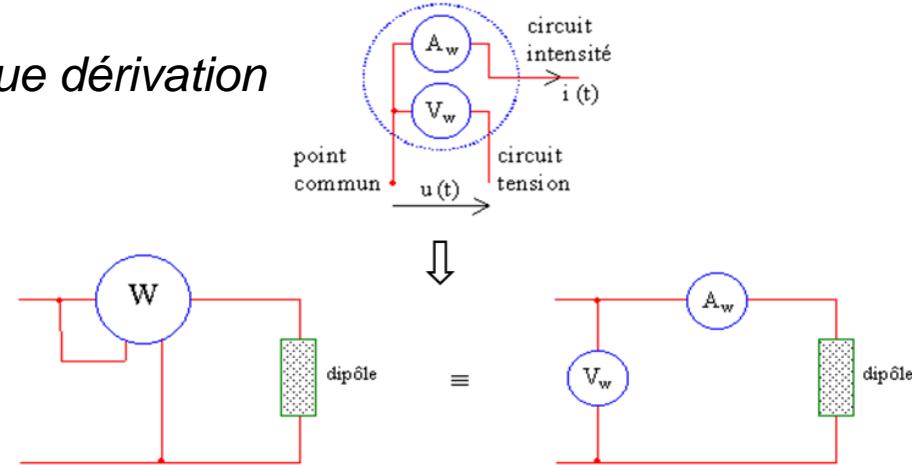
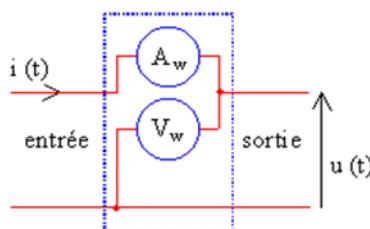
Comme la résistance d'un voltmètre est usuellement élevée, le montage **aval** est donc intéressant pour des valeurs de résistances X faibles.



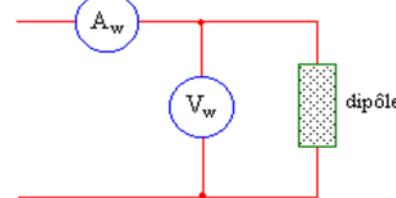
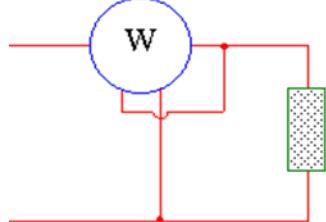
Mesure de puissance



Montage amont ou longue dérivation



Montage aval ou courte dérivation



Merci de votre attention

Fin du chapitre 9