

Chapitre 3 : Mesure et Incertitude.

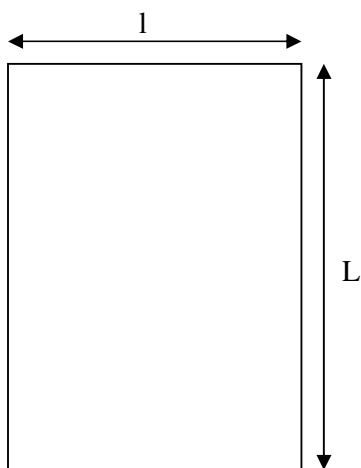
Le scientifique qui étudie un phénomène naturel se doit de faire des mesures. Cependant, lors du traitement de ses résultats ce pose à lui la question de la précision et de la signification des mesures. En classe, les élèves posent souvent la question « Monsieur, combien on garde de chiffres après la virgule ? ». Le but de ce chapitre est de résoudre le problème de l'incertitude qui entache une mesure.

Activité 1 : Une drôle de feuille de papier.

1^{ère} étape :

Le professeur distribue à chacun une feuille au format A4 en demandant de noter sur celle-ci sa longueur L et sa largeur l en utilisant une règle graduée.

Il recense ensuite au tableau tous les résultats proposés :



<i>L</i>	<i>l</i>	<i>Nombre de réponses équivalentes</i>
29,7 cm	21 cm	9
297 mm	210 mm	6
29,7 cm	20,9 cm	4
29,8 cm	21 cm	4
29,7	21	2
19,7	21	1

On demande alors aux élèves de discuter les résultats inscrits au tableau et d'essayer d'en éliminer certains en justifiant leur choix.

L'exercice qui leur avait été proposé et qui leur semblait être un exercice de mesure sans difficulté et dépourvu d'intérêt leur paraît maintenant faire surgir un vrai problème :

Une grandeur physique ne peut être mesurée avec exactitude.

Une grandeur physique ne peut être mesurée avec exactitude ; il faut lui attacher une incertitude liée à l'appareil de mesure.

L'incertitude d'une mesure dépend donc directement de l'appareil utilisé. **Par convention, on pose que l'incertitude sur la mesure est égale à la moitié de la plus petite unité affichée par l'instrument de mesure** (Comme toute convention, il arrive que cette dernière ne s'applique pas lorsque le constructeur de l'appareil de mesure le signifie).

Par exemple :

Avec une règle graduée au millimètre près, les mesures de la longueur L (ou de la largeur l) de la feuille sont données jusqu'au millimètre et l'incertitude notée ΔL sera d'un demi-millimètre.

$$L \pm \Delta L = 29,70 \pm 0,05 \text{ cm} \quad \text{et} \quad l \pm \Delta l = 21,00 \pm 0,05 \text{ cm}$$

Attention ! Le « virgule zéro » qui apparaît dans l'écriture a un sens physique. C'est une convention d'écriture, qui indique que l'incertitude porte sur le dernier chiffre écrit.

2^{ème} étape :

Le professeur pose à présent la question suivante aux élèves : « Quelle est la mesure la plus précise : la longueur L ou la largeur l de la feuille A4 ».

Les élèves répondent alors : « la précision est la même ».

Sans qualifier cette réponse de fausse ou d'exacte, l'enseignant pose la question suivante : « Avec une même règle, quelle est la mesure la plus précise : la longueur de la classe ou l'épaisseur d'une mine de crayon ? »

2 conclusions s'imposent alors :

- un instrument de mesure doit être adapté à l'ordre de grandeur de la mesure à effectuer,
- pour un même instrument de mesure, la précision sera d'autant plus grande que la taille de l'objet est importante.

On utilise alors la notion d'incertitude relative $\Delta L/L$. Plus cette dernière est petite, plus la mesure est précise.

Le professeur repose alors la question de départ. $\Delta L/L < \Delta l/l$ donc la mesure de la longueur est plus précise que celle de la largeur.

3^{ème} étape :

Le professeur demande alors aux élèves de calculer le périmètre P et l'aire S de la feuille A4 à partir des mesures retenues et des mesures qu'ils ont fait au départ.

Après avoir calculé, le professeur demande aux élèves de discuter de la signification et même de la réalité des chiffres des résultats trouvés.

Les règles suivantes pourront être retenues :

- **Le résultat d'un calcul ne peut être exprimé avec une précision supérieure à celle de la donnée la moins précise.**
- **Après une addition ou une soustraction, le résultat ne doit pas avoir plus de décimales que le nombre qui en comporte le moins**
- **Après une multiplication ou une division, le résultat ne doit pas comporter plus de chiffres significatifs que la donnée la moins précise.**

I Incertitude et chiffres significatifs.

Une grandeur physique ne peut être mesurée avec exactitude.

Par convention, on pose que l'incertitude sur la mesure est égale à la moitié de la plus petite unité affichée par l'instrument de mesure.

L'incertitude d'une mesure dépend donc directement de l'appareil utilisé. On utilise alors la notion d'incertitude relative $\Delta L/L$. Plus cette dernière est petite, plus la mesure est précise.

Le résultat d'un calcul ne peut être exprimé avec une précision supérieure à celle de la donnée la moins précise.

Après une addition ou une soustraction, le résultat ne doit pas avoir plus de décimales que le nombre qui en comporte le moins

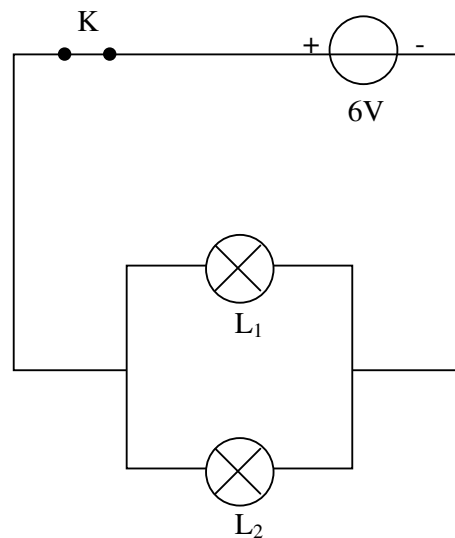
Après une multiplication ou une division, le résultat ne doit pas comporter plus de chiffres significatifs que la donnée la moins précise.

Activité 2 : Comment prévoir le comportement d'un circuit électrique simple ?

On dispose du matériel suivant :

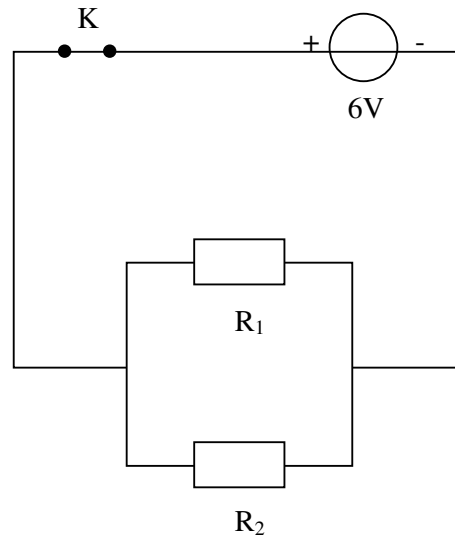
- un générateur de tension 6 V,
- deux lampes L_1 (6 V, 50 mA) et L_2 (6 V, 50 mA),
- deux conducteurs ohmiques ($R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 2,2 \text{ k}\Omega$),
- un interrupteur,
- une plaquette de connexions,
- des fils électriques.

On va dans un premier temps essayer de se rappeler les notions de base d'électricité qui sont nécessaires à la compréhension du programme de M.P.I. Pour cela on considère le montage suivant :



- 1) Décrire précisément, par écrit, la démarche que vous adopteriez pour réaliser le montage correspondant à ce schéma. Puis, après avoir fait valider cette dernière par votre professeur, le réaliser.
- 2) D'après vous, comment vont éclairer les deux lampes du circuit ? Pourquoi ?
- 3) Vérifier votre prédiction à l'aide du montage.
- 4) Les 2 lampes que vous utilisez sont-elles identiques ? Pourquoi ?
- 5) Que peut on en déduire sur l'intensité des courants qui les traversent ?
- 6) Comment sont branchées les deux lampes ? Citer une application de ce type de branchements dans une maison.
- 7) Quel est le rôle de l'interrupteur ?
- 8) Représenter les courants I , I_1 , I_2 qui traversent les différentes branches du montage. Représenter les tensions aux bornes du générateur U_G , des lampes U_1 et U_2 .

On vient donc de conclure que l'intensité est exactement la même dans les deux lampes. On se propose à présent d'étudier le montage suivant :



6) L'observation permet-elle de comparer la valeur des intensités des courants traversant les conducteurs ohmiques ? Que peut-on conclure de tout cela ?

II Réaliser un montage électrique.

Lors de la réalisation d'un montage électrique, il est nécessaire de respecter certaines étapes importantes :

- il ne faut jamais brancher le générateur avant d'avoir réalisé le montage en entier et de l'avoir fait vérifier par votre professeur.

- On dispose les éléments à assembler sur la paillasse.

- On part de la borne + du générateur. On assemble les éléments les uns après les autres jusqu'à la borne - en suivant l'ordre du schéma.

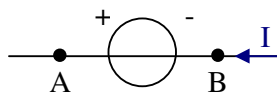
- Après vérification du circuit par le professeur, on branche l'alimentation.

III Les grandeurs électriques.

III.1 L'intensité du courant électrique.

Un circuit électrique peut être considéré comme un réseau de conduites, fermé sur lui-même, complètement imprégné d'un fluide incompressible de particules chargées que sont les électrons. Lorsqu'on allume le générateur, ce dernier met en mouvement les électrons qui parcourent le circuit de la borne - à la borne +.

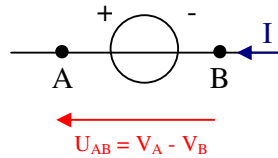
Le courant électrique est défini comme étant un déplacement de porteurs de charge. Cependant, **ATTENTION !** Le sens conventionnel du courant électrique est le sens inverse de celui du déplacement des électrons libres dans le circuit. Le courant part donc de la borne + et se dirige vers la borne -.



L'unité de l'intensité est l'ampère de symbole A.

III.2 La tension électrique.

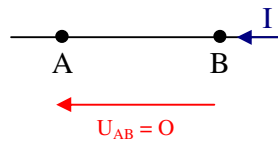
La tension caractérise la différence d'état électrique ou de potentiel entre deux points du circuit. Cette notion d'état peut être perçue grâce au générateur. En effet, ce dernier possède deux bornes A et B de nature différente (une positive et une négative). On comprend aisément que la borne positive A est dans un état électrique différent de celui de la borne négative B. Il existe donc une différence de potentiel ($V_A - V_B$) entre ces deux bornes responsable de l'apparition de la tension U_{AB} entre ces deux points.



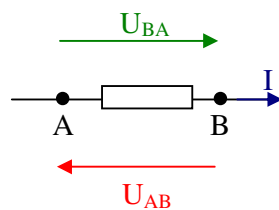
L'unité de la tension est le Volt de symbole V.

Remarques :

- La tension U_{AB} est toujours représentée par un segment fléché orienté de B vers A.
- Si deux points sont au même potentiel (même état électrique), la tension entre les deux est nulle. C'est le cas par exemple entre deux points d'un même fil électrique non séparés par un dipôle ou un générateur.



- Entre deux points A et B d'un circuit, on a : $U_{AB} = -U_{BA}$.



Activité 3 : Comment utiliser un multimètre ?

Lorsqu'on désire faire des mesures précises en électricité, on utilise un multimètre. Ce dernier permet à la fois de mesurer les intensités des courants (fonction « ampèremètre »), mais aussi les tensions électriques (fonction « voltmètre »), ainsi que les résistances des conducteurs ohmiques (fonction « ohmmètre »).



- 1) Indiquer les bornes du multimètre à utiliser pour mesurer chacune des grandeurs suivantes :
 - la tension,
 - l'intensité du courant,
- 2) Que signifient les notations ACA, ACV, DCA et DCV sur la face du multimètre ?
- 3) Faire le schéma d'un montage comportant, en série, un générateur de tension continue, un interrupteur K et une lampe L_1 .
- 4) Représenter le sens conventionnel du courant et introduire dans le schéma un ampèremètre, en précisant ses bornes, permettant de mesurer l'intensité du courant I qui traverse la lampe.
- 5) Représenter la tension U_{AB} entre les bornes A et B de la lampe (A étant à gauche et B à droite de L_1).
- 6) Comment doit-on brancher le voltmètre pour mesurer la tension U_{AB} ? Le représenter en précisant ses bornes.
- 7) Quel calibre allez-vous choisir dans le cas du voltmètre et de l'ampèremètre ? Que se passera-t-il si la valeur mesurée est supérieure à la valeur trouvée ?
- 8) Faites vérifier l'ensemble de vos réponses par le professeur, puis réaliser le montage.
- 9) Mesurer la tension U_{AB} et l'intensité I.
- 10) Que se passe-t-il si les bornes du voltmètre sont inversées ?

IV Mesurer une tension et une intensité avec un multimètre.

Un multimètre est un appareil de mesure possédant plusieurs fonctions. Il peut être utilisé :

- en ampèremètre, pour mesurer l'intensité du courant ;
- en voltmètre, pour mesurer la tension aux bornes d'un dipôle ou entre deux points d'un circuit ;
- en ohmmètre, pour mesurer la résistance d'un dipôle ou d'une portion de circuit.

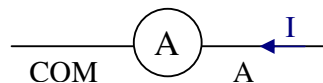
Pour chacune de ces fonctions, l'appareil possède plusieurs calibres. Le calibre est la valeur maximale de la tension qui peut-être mesurée par l'appareil

IV.1 Mesurer une intensité.

Pour mesurer une intensité de courant électrique, on doit utiliser le multimètre comme ampèremètre. Ce dernier mesure en réalité, l'intensité du courant qui le traverse. On se doit donc de le placer en série dans le circuit.

Pour mesurer une intensité I , on procède toujours de la façon suivante :

- On sélectionne la fonction « ampèremètre » en plaçant le sélecteur dans la zone correspondante (DCA lorsqu'on travaille en continu et ACA lorsqu'on travaille en alternatif).
- On sélectionne alors le plus grand calibre afin d'être sûr que l'intensité mesurée est bien inférieure à l'intensité maximale supportable par l'appareil. On ajustera le calibre plus tard.
- On connecte le fil par lequel le courant arrive jusqu'à l'ampèremètre à la borne A.
- On connecte le fil par lequel le courant sort de l'ampèremètre à la borne COM.
- En lisant la valeur trouvée, on ajuste le calibre. Le calibre le mieux adapté à la mesure est le plus petit des calibres supérieurs à la mesure.



Remarque :

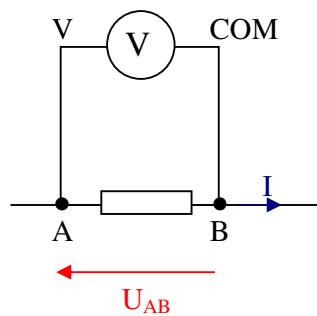
- Si on inverse les bornes de l'ampèremètre, on mesure $-I$. La valeur qui apparaît à l'écran est donc négative.

IV.2 Mesurer une tension.

Pour mesurer une tension électrique, on doit utiliser le multimètre comme voltmètre. Ce dernier mesure en réalité, la tension entre deux points. Il faut donc le brancher en dérivation aux bornes du dipôle ou de la portion de circuit.

Pour mesurer une tension U_{AB} , on procède toujours de la façon suivante :

- On sélectionne la fonction « voltmètre » en plaçant le sélecteur dans la zone correspondante (DCV lorsqu'on travaille en continu et ACV lorsqu'on travaille en alternatif).
- On sélectionne alors le plus grand calibre afin d'être sûr que la tension mesurée est bien inférieure à la tension maximale supportable par l'appareil. On ajustera le calibre plus tard.
- On connecte le fil relié au point A à la borne V du voltmètre.
- On connecte le fil relié au point B à la borne COM du voltmètre.
- En lisant la valeur trouvée, on ajuste le calibre. Le calibre le mieux adapté à la mesure est le plus petit des calibres supérieurs à la mesure.



Remarque :

- Si on inverse les bornes du voltmètre, on mesure U_{BA} c'est-à-dire $-U_{AB}$. La valeur qui apparaît à l'écran est donc négative.

IV.3 Mesurer un potentiel électrique.

Un voltmètre ne peut calculer directement la valeur du potentiel V d'un point. En effet, il ne peut calculer qu'une tension c'est-à-dire une différence de potentiel.

La tension électrique U_{AB} est reliée aux potentiels V_A et V_B des points A et B par la relation suivante :

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

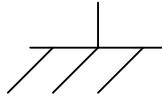
Si l'on désire mesurer V_A à l'aide du voltmètre on se doit de brancher ce dernier entre le point A et un point B dont le potentiel V_B est nul.

On a alors :

$$U_{AB} = V_A - 0 = V_A$$

Le voltmètre donne alors le potentiel du point A qui s'exprime comme la tension en Volt.

Les points, dont le potentiel électrique est nul, sont des points de référence. On les appelle **masse du circuit** et sont représentés par le symbole suivant :



IV.4 Qualité d'une mesure.

Les sciences physiques étant des sciences expérimentales (contrairement aux mathématiques qui sont une science exacte), on se doit de tenir compte de l'erreur induite par la pratique. En électricité, on va donc avoir des résultats entachés d'une incertitude due au manque de précision des appareils de mesure employés.

L'incertitude d'un appareil est généralement donnée dans la notice de fonctionnement du constructeur. Cependant, pour des raisons de commodité, de plus en plus de modèles portent sur leur boîtier cette précieuse indication.

Lorsqu'on va donc mesurer, par exemple, une intensité I avec un ampèremètre dont l'incertitude sur la mesure est ΔI , on pourra dire que :

$$I = I_{\text{mesuré}} \pm \Delta I$$

ou

$$I_{\text{mesuré}} - \Delta I < I < I_{\text{mesuré}} + \Delta I$$

Application :

Prenons l'exemple d'un multimètre, réglé sur la fonction « ampèremètre » avec un calibre de 20 mA, l'incertitude ΔI , lorsqu'elle n'est pas donnée par le constructeur peut être trouvée par la relation suivante :

$$\Delta I = 0,5\% \text{ de la valeur lue} + 1 \text{ unité de résolution sur le calibre } 20 \text{ mA}$$

L'unité de résolution est la plus petite valeur pouvant être lue sur le calibre choisi, c'est-à-dire 0,01 mA pour un calibre de 20 mA et avec un ampèremètre de 3 digits.

- 1) La valeur de l'intensité mesurée est 19,5 mA, quelle est l'incertitude ΔI ?
- 2) Donnée un encadrement de la valeur de I .

On a $\Delta I = 0,5\% \times 19,5 + 0,01 = 0,1 \text{ mA}$ donc $19,4 \text{ mA} < I < 19,6 \text{ mA}$