

## 5. MESURES DE POTENTIELS

---

*Durant cette séance le terme de « tension » sera souvent utilisé. Il est essentiel de garder en tête qu'il s'agit de « tension électrique » ou plus exactement de « différence de potentiels électriques ». Mais comment définir un potentiel électrique ?*

### 1. Introduction

Pour comprendre quelque peu la signification du potentiel on peut faire une analogie avec un système plus visuel. Considérez une gouttière horizontale contenant de l'eau. Dans cette position le système est au repos et l'eau est inerte. Si vous appliquez une perturbation au système gouttière+eau en soulevant une de ses extrémités, alors l'eau va s'écouler du point le plus haut vers le point le plus bas. Vous avez créé une « différence de potentiel » ou une « tension gravitationnelle » qui a induit une réaction du système à savoir l'écoulement de l'eau. Vous comprenez bien dans cette analogie que le débit d'eau dépend de la différence de hauteur entre les deux extrémités. En revanche la hauteur d'une extrémité est une grandeur tout à fait relative, tout dépend par rapport à quel repère elle est mesurée. Le sol ? Le support de la gouttière ?

Le circuit électrique lui est un milieu conducteur (excepté lorsqu'il comprend des condensateurs) qui contient des électrons libres de circuler. Sans perturbation extérieure le mouvement d'ensemble des électrons est nul. Si vous appliquez aux extrémités du circuit une différence de potentiel électrique (c'est la perturbation) les électrons libres du circuit vont se mettre en mouvement (c'est la réaction du milieu). Comme pour le cas de la gouttière, le courant d'électrons qui apparaît dans le circuit dépend de la différence de potentiel électrique et le potentiel électrique d'une borne du générateur de tension électrique est une grandeur relative.

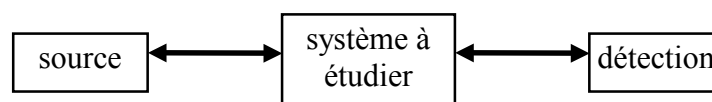
Par commodité on attribue la valeur « 0 » au potentiel le plus bas (le pôle - du générateur) et tous les autres potentiels du circuit sont mesurés par rapport à ce potentiel de référence. Cela revient à attribuer la hauteur « 0 » à l'extrémité la plus basse de la gouttière. Lorsqu'on mesure la hauteur de l'extrémité haute, 4 mètres par exemple, c'est, sous entendu, par rapport à la hauteur « 0 ».

### 2. Généralités sur les circuits électriques:

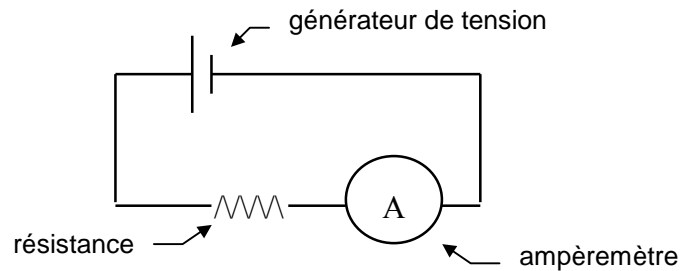
#### 2.1. Circuit électrique

D'une manière générale un circuit électrique peut se décomposer en trois parties :

- **la source** (ou générateur) capable d'imposer une différence de potentiel ou de produire un courant (les deux effets étant souvent liés).
- **le système** proprement dit qui subit la contrainte imposée par le générateur et qui fait l'objet de l'étude.
- **la détection** comportant les appareils de mesure (ampèremètre, voltmètre, ohmmètre, oscilloscope...).



Exemple simple :



## 2.2. Les sources

On distingue 2 types de source :

### 2.2.1. les sources de tension

Une source de tension, connectée à un circuit électrique, va produire un courant ce qui fait d'elle également une source de courant. Si elle porte ce nom c'est parce qu'elle impose une tension (celle que vous désirez). La valeur du courant dépend alors des éléments du circuit. Dans l'exemple ci-dessus, si le générateur de tension impose une tension  $U$  alors le courant  $I$  qui circule dans le circuit sera :

$$I = \text{Erreur !}$$

### 2.2.2. source de courant

Là aussi, pour produire un courant la source doit nécessairement appliquer une tension. Mais dans ce cas la source impose une intensité de courant dans le circuit (celle que vous désirez). La valeur de la tension dépendant des éléments du circuit.

## 2.3. Les composants du circuit

Il existe plusieurs types de composants électriques et tous ont un comportement différent vis-à-vis des contraintes électriques. Le but de cette séance n'est pas de les étudier. Nous utiliserons essentiellement des résistances.

### 2.3.1. la résistance

Dans l'exemple de la gouttière, vous pouvez imaginer que la relation qui lie la différence de hauteur des extrémités  $H$  et le débit d'eau  $D$  dépend de la dimension de la gouttière. Une grosse gouttière facilitera l'écoulement de l'eau alors qu'une fine laissera filer moins d'eau.

De la même manière, tous les matériaux soumis à une différence de potentiel offrent une résistance plus ou moins grande au mouvement des électrons. On caractérise le comportement du matériau par une grandeur notée  $R$  et appelée résistance (électrique sous entendu). S'il est soumis à une tension  $U$ , le matériau sera traversé par un courant d'intensité  $I$  tel que:

$$I = \text{Erreur !}$$

relation que vous connaissez sous le nom de **loi d'Ohm**.  $R$  s'exprime en ohms ( $\Omega$ ) quand  $U$  est en volts et  $I$  en ampères.

Toutes les matières (même vivantes) ou matériaux ont une résistance. Si elle est très élevée ( $>10^9 \Omega$ ) on parle alors d'isolant (électrique sous entendu). Si au contraire elle est plus faible, les matériaux sont qualifiés de conducteurs. Ils sont utilisés dans les circuits électriques. Pour des

valeurs intermédiaires on parle de semi-conducteurs. Dans ce cas la relation entre  $U$  et  $I$  n'est plus linéaire. La résistance d'un matériau peut dépendre de paramètres extérieurs. C'est le cas des thermorésistances, leur résistance dépend de leur température, ou des photorésistances, dans ce cas  $R$  dépend de l'éclairement.

Un circuit électrique est réalisé pour remplir une fonction bien précise. Dans ce cas on désire contrôler la résistance électrique. Pour cela on introduit dans le circuit des composants appelés dipôles et aux bornes desquels la résistance est parfaitement connue. De cette manière on peut rendre négligeable la résistance des fils.

### 2.3.2. condensateurs et inductances

Lorsque le générateur est une source de tension variable dans le temps il existe d'autres effets qui s'opposent au passage du courant. Il s'agit des effets capacitifs et inductifs. Dans les circuits électriques ils sont localisés par des condensateurs et des inductances. Nous n'étudierons pas ces composants aujourd'hui.

## 2.4. Les outils de mesure ; régime permanent

Lorsque la tension appliquée, et l'intensité du courant qui en découle, sont constantes on parle alors de régime permanent.

### 2.4.1. le voltmètre

Il sert à mesurer une différence de potentiel qui existe entre deux points, aux bornes d'un dipôle  $AB$  par exemple. Il est donc monté en dérivation (ou en parallèle). Il prélève une partie infime du courant qui traverse le dipôle  $AB$  (sa résistance interne est donc très grande) et en déduit la tension  $U_{AB}$ .

### 2.4.2. l'ampèremètre

Il sert à mesurer l'intensité du courant qui circule dans le circuit. Il doit être traversé par le courant pour afficher la valeur de son intensité. Il fait donc partie du circuit (montage en série) et doit posséder une résistance interne très faible pour ne pas perturber.

## 2.5. Les outils de mesure ; régime variable

Lorsque la tension appliquée et l'intensité du courant qui en découle, sont des fonctions du temps on parle alors de régime variable.

### 2.5.1. voltmètre - ampèremètre

Si la tension ou l'intensité sont variables dans le temps, les deux appareils de mesure ne peuvent afficher instantanément leur valeur. On est amenée à définir une nouvelle grandeur :

la valeur efficace : *On définit l'intensité efficace d'un courant variable comme l'intensité d'un courant continu qui, passant dans la même résistance pendant la même durée, donne le même dégagement de chaleur par effet Joule.*

Les ampèremètres et voltmètres que vous utiliserez durant cette séance sont prévus pour mesurer les valeurs efficaces lorsque les tensions ou intensités varient sinusoïdalement.

### 2.5.2. L'oscilloscope

Cet appareil permet de visualiser une tension variable. Autrement dit, en régime variable il est indispensable. Il permet aussi de faire des mesures mais sa précision est assez médiocre. Il se connecte comme un voltmètre, en dérivation. Il n'est pas superflu de connaître le principe de son fonctionnement qui vous est donné en annexe.

## 3. Manipulations

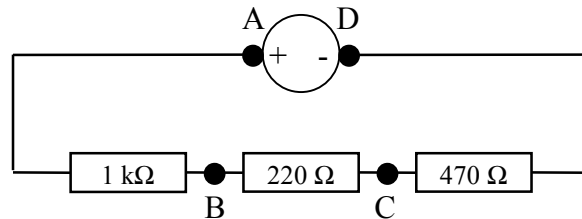
### 3.1. Liste du matériel

1 alimentation continue (jeulin)	1 générateur de fonction
1 multimètre <i>MX512</i>	1 oscilloscope
3 résistances (220, 470, 1000) $\Omega$	1 cuve réhographique + Erlenmeyer
1 plaquette	1 cordon à pointe rouge

### 3.2. Potentiels discrets

Le but de ce premier exercice est de mettre en évidence la différence entre les termes "potentiel" et "tension".

Réalisez le circuit ci-dessous. Sur le générateur utilisez la sortie « tension fixe ».



a) Premièrement, on considère le point  $D$  comme le potentiel de référence,  $V_D = 0$ . Mesurez, à l'aide du voltmètre *MX512* les potentiels aux points  $A$ ,  $B$ ,  $C$ .

En déduire pour chaque résistance la tension électrique à ses bornes et, à l'aide de la loi d'Ohm, le courant qui la traverse.

b) On choisit maintenant le potentiel du point  $B$  comme potentiel de référence. Mesurer les valeurs des potentiels aux points  $A$ ,  $C$ ,  $D$  puis, déduire pour chaque résistance la tension électrique qui lui est appliquée. Quel courant traverse les trois résistances ? Vérifier le calcul par une mesure à l'ampèremètre.

c) Conclusions ?

### 3.3. Potentiels répartis

Remplacez la résistance de 220  $\Omega$  par la cuve rhéographique dans laquelle vous aurez versé 100 ml d'eau.

#### 3.3.1. Visualisation du potentiel

Connectez l'oscilloscope aux bornes de la cuve (masse de l'appareil à la borne  $C$ ) et utilisez-le en mode  $XY$ . Branchez l'alimentation et observez le spot à l'écran.

Débranchez la fiche de la borne  $B$  et plongez là dans la cuve en faisant varier sa position. Commentez ce que vous observez à l'oscilloscope.

#### 3.3.2. Mesure des potentiels

On désire quantifier la variation du potentiel à l'intérieur de la cuve. Choisissez une borne de référence pratique (justifiez votre choix), trempez l'autre borne du voltmètre et promenez la dans l'eau :

1/ le long de l'axe central  $BC$ . Tracer la fonction  $U_\ell = f(\ell)$ ,  $\ell$  étant la distance qui sépare la fiche de mesure à la borne de la cuve prise comme référence.

A partir de ce graphe et de la relation  $E = - \overrightarrow{\text{grad}}V$  en déduire la valeur et la direction du champ électrique dans la cuve le long de l'axe. Comparez avec la valeur moyenne.

2/ le long de lignes parallèles à l'axe central.. Sur papier millimètre, vous tracerez par exemple les 4 équipotentiels (lignes qui rejoignent tous les points de même potentiel) correspondant à 4, 6, 8 et 10 volts à partir de la borne de référence. Comment apparaissent-elles dans la cuve ?

### 3.3.3. Résistance de l'eau

Ajoutez 100 ml d'eau dans la cuve et observez comment varie la résistance.

On sait que la résistance de l'eau peut s'écrire :

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{S}$$

où  $S$  représente la surface d'une section perpendiculaire à l'axe  $BC$ . En raisonnant à partir de vos mesures, la dépendance de  $R$  avec  $\ell$  et  $S$  vous paraît-elle prévisible ? Expliquez.

$\rho$  n'est autre que la résistivité de l'eau.

### 3.3.4. Résistance d'un matériau organique

Remplacez la cuve réhographique par une feuille. Utilisez les pinces crocodiles pour la connexion électrique. Réalisez des mesures de potentiels et concluez sur la répartition des potentiels sur cette feuille. Insérez un ampèremètre  $MX112$  dans le circuit et donnez l'ordre de grandeur de la résistance de la feuille.

### 3.4. Potentiel et corps humain

En gros, les effets du passage du courant à travers le corps humain sont les suivants :

- < 10 mA : picotements légers ou imperceptibles
- 20 mA : douleurs, ne pas prolonger
- 30 mA : troubles respiratoires
- 70 mA respiration très difficile
- 100 mA : mort par fibrillation (contractions spasmodiques du coeur)
- > 200 mA : plus de fibrillation mais brûlures graves et respiration bloquées.

Le domaine compris entre 100 et 200 mA est assez étrange car il est le plus mortel. Le désordre dans la circulation sanguine due à la fibrillation entraîne rapidement la mort. Au-delà de 200 mA, le coeur s'arrête mais les techniques de réanimation permettent de le faire battre de nouveau.

Le courant qui traverse la victime est habituellement déterminé par la résistance de sa peau allant de 1 k $\Omega$ , peau mouillée à 100 k $\Omega$  environ pour une peau sèche

Le courant d'une tension supérieure à 240 V peut percer la peau. Dans ce cas la résistance interne est plus faible. Elle peut descendre jusqu'à 500 voire 100  $\Omega$ .

On désire mesurer approximativement la résistance de votre corps prenant dans vos doigts les deux fiches connectées aux points *B* et *C* du circuit précédent. Pour vous assurer que vous ne courez aucun danger, calculez quelle valeur de résistance vous devez placer dans le circuit pour que, quelle que soit la résistance de votre corps, le courant ne dépasse jamais 10mA. Modifiez les résistances si nécessaire.

Connectez vous au circuit et, par la mesure du courant qui vous traverse, déduisez la résistance de votre corps. Réalisez plusieurs mesures, à différents endroits, avec les doigts humides ... Commentez.

### ANNEXE 1 : Principe de fonctionnement de l'oscilloscope

L'oscilloscope comprend essentiellement un tube à vide, doté d'un canon à électrons et d'un système de plaques de déflexion planes assurant des déviations horizontale et verticale du faisceau électronique.

Il permet de visualiser sur un écran les variations d'une tension en fonction du temps (**mode balayage**) ou d'une autre tension (**mode XY**): le *spot*, point lumineux de l'écran dû à l'impact du faisceau d'électrons, se déplace sous l'action des tensions appliquées sur les plaques de déviation.

Une tension  $V_x$ , appliquée sur les plaques verticales  $XX'$ , provoque un déplacement horizontal  $x$  proportionnel à  $V_x$ . Il en est de même pour une tension  $V_y$ , appliquée sur les plaques horizontales  $YY'$ , elle provoque un déplacement vertical  $y$  proportionnel à  $V$  :

$$x = hV_x \text{ et } y = kV_y$$

$h$  et  $k$  sont les facteurs de conversion exprimés sur l'appareil en V/cm ou mV/cm (calibre de tension).

A cause de la persistance de la fluorescence de l'écran et des impressions lumineuses sur la rétine, cette courbe est visible si le déplacement du spot est assez rapide et répétitif.

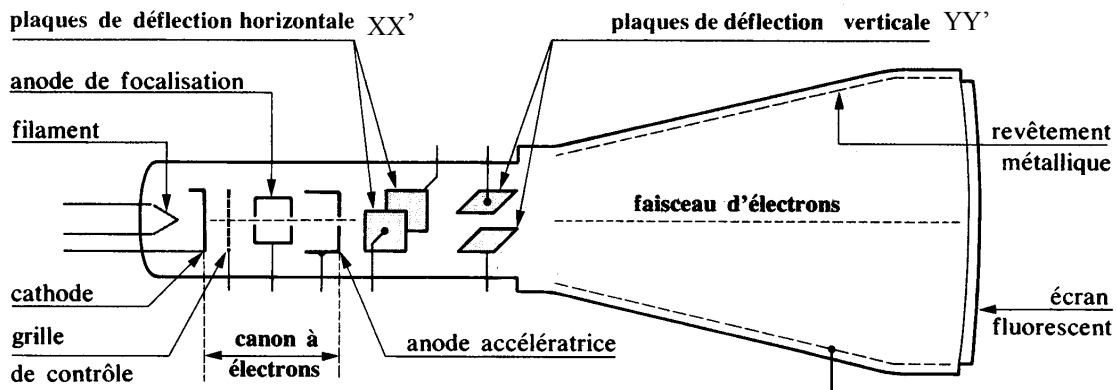


Figure 1 : schéma de principe d'un oscilloscope

#### 3.4.2. Remarque sur l'utilisation des multimètres

Lors de cette séance vous utiliserez un multimètre. Comme son nom l'indique, cet appareil réalise plusieurs fonction et comprend un voltmètre, un ampèremètre et permet également la mesure de résistance. Il convient donc de sélectionner sa fonction avant son utilisation pour réaliser une mesure correcte.

**Nota :** 1/ l'utilisation du multimètre comme voltmètre alors que la fonction ampèremètre est sélectionnée peut engendrer sa destruction !

2/ En position voltmètre, la référence des potentiels est connectée à la borne "COM" ou "-".

### ANNEXE 2 : Notion de masse et de terre

De même que l'altitude d'un lieu est définie comme la différence de hauteur par rapport au niveau de la mer, on définit dans un montage électrique un point qui sert de potentiel de référence. Ce point est appelé la *masse* du circuit.

Les appareils électriques tels qu'on peut les rencontrer en travaux pratiques (générateur de fonctions, alimentation continue, oscilloscope), sont des circuits électroniques possédant chacun leur propre masse, généralement reliée au boîtier de l'appareil pour des raisons d'antiparasitage. Certains de ces appareils ont leur masse connectée à la terre du réseau d'alimentation secteur pour des raisons de sécurité.

*REMARQUE* : ne pas confondre la masse ou la terre avec le fil neutre du réseau d'alimentation.



Figure 1 : symboles

Lors de la réalisation d'un montage comportant plusieurs appareils, il faut tenir compte du fait que la masse de chaque appareil est habituellement reliée à la terre et que, par conséquent, ces masses sont communes et doivent impérativement correspondre à un même point sur le montage (fig. 2a).

Si l'on n'en tient pas compte, il peut alors y avoir un court-circuit. Dans le montage 2b, par exemple, le générateur est en court-circuit par l'intermédiaire des fils de terre des deux appareils.

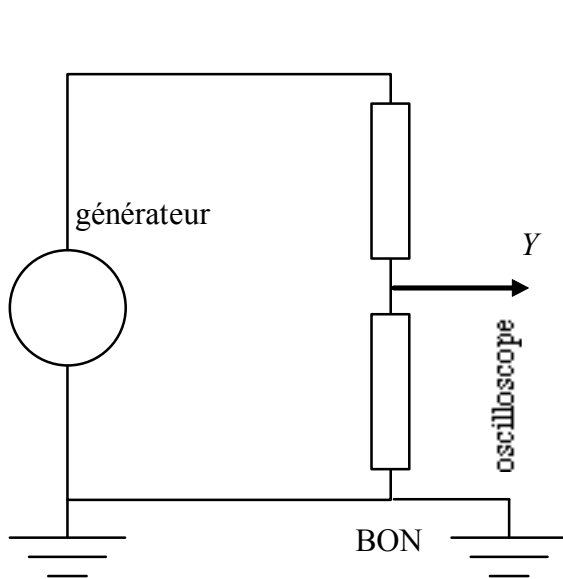


figure 2a

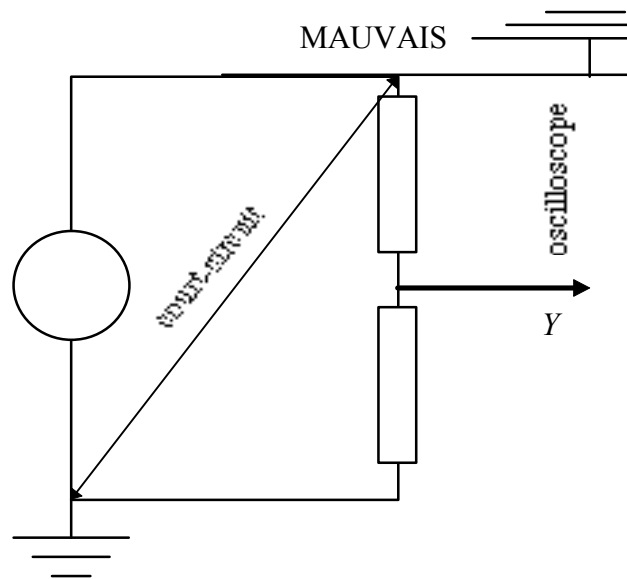


figure 2b



### 3.5. Régime variable

#### 3.5.1. Notion de masse et de terre

Sans modifier le circuit, remplacez l'alimentation continue par le générateur de fonction. Choisissez un signal sinusoïdal et mesurez, avec le *MX 512* **correctement sélectionné et calibré**, la différence de potentiel aux bornes de la résistance  $1\text{ k}\Omega$ . A l'aide de l'annexe, expliquez la mesure obtenue. Pourquoi ce problème ne vous est-il pas apparu en régime continu ?

#### 3.5.2. Valeur crête, valeur efficace

Observez à l'oscilloscope le signal  $V_{DB}$  et mesurez ce même signal avec le multimètre. Le signal observé est de la forme :

$$V_{DB}(t) = V_0 \cos(\omega t)$$

Déterminez graphiquement les valeurs de  $V_0$  et  $\omega$ .

Quelle relation pouvez vous écrire entre la valeur affichée par le multimètre,  $V_{eff}$  (tension efficace) et la valeur crête  $V_0$  ?

Choisissez maintenant un signal carré sur le générateur de fonction. Ecrivez à nouveau la relation qui lie  $V_0$  et la tension donnée par le multimètre.