



MESURE ET COMPTAGE

DR NACÉRA HAMMADI

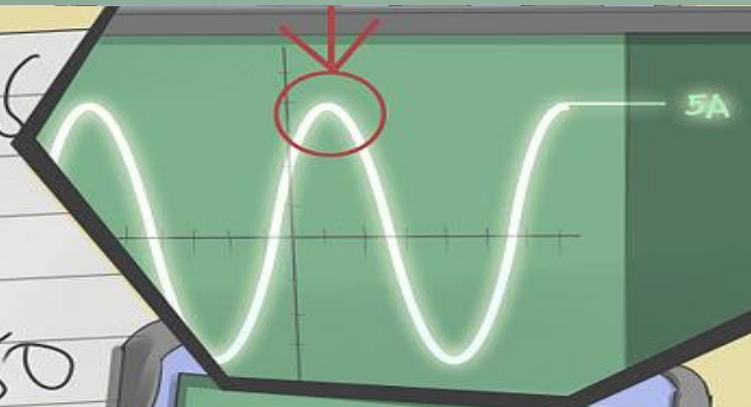
**FACULTÉ DE GÉNIE ÉLECTRIQUE
DÉPARTEMENT D'ÉLECTROTECHNIQUE**

$$V_L = 250 \text{ V}_p \cdot \text{mS}$$

$$I = 5 \text{ A}$$

$$L = \frac{V_L}{I} = \frac{250}{5 \text{ A}}$$

$$L = 50 \text{ mH}$$



N. HAMMADI

Ancienne étudiante et chargée de cours

à l'U. S. T. O.

Maître de Conférences au Département d'Électrotechnique

MESURE ET COMPTAGE

**À L'USAGE DES ÉTUDIANTS
D'ÉLECTROTECHNIQUE ET ÉLECTRONIQUE
ET DES TECHNICIENS
DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUE ET ÉLECTRONIQUE**

HAMMADIN.

Un grand homme et un papa

*Si je suis ce que je suis, si j'ai réussi à faire ce que je fais ... c'est que j'ai eu d'importants
" coups de mains ".*

Avec toi, rien n'était impossible, j'étais vraiment entre " bonnes mains" !

AVANT-PROPOS

Tout passe par la mesure !

Mesurer, estimer, compter, nous le faisons tous au quotidien : lorsque nous lisons l'heure, faisons le plein de carburant ou vérifions ce qu'il vous reste à manger dans nos placards, nous effectuons un **comptage** ou une **mesure** sans le savoir !

C'est pour cette raison que l'auteur a voulu rendre ici accessible au plus grand nombre ces deux sciences réputées complexes - bien à tort il faut l'avouer.

Ce cours présente donc de manière pratique et très abordable quelques-unes des applications les plus courantes dans ces domaines, qui vous permettront de vous initier ludiquement à la **mesure** et au **comptage**. Armé de ce cours, vous parviendrez - grâce aux nombreux montages et aux thèmes proposés dans ce cours - à réaliser vos propres expériences, et pourquoi pas à développer et à combiner les circuits pour réaliser des appareils performants et originaux personnalisés.

C'est à ce titre que je propose ce cours sur les mesures et appareils électriques. Avec ces éléments nous sommes d'avance assuré de rendre un véritable service aux générations présente et future.

Sans anticiper sur l'avenir, j'espère qu'à ce titre il sera favorablement accueilli du public.

"Mesure maîtrisée, performance pérennisée"



MESURE ET RÉGLAGE D'UN COURANT CONTINU

1. AMPÈREMÈTRE À DÉVIATION

1.1. SHUNTS ET CALIBRES

1.2. INDICATIONS DONNÉES PAR LE CONSTRUCTEUR

1.3. UTILISATION D'UN AMPÈREMÈTRE

1.3.1. MONTAGE

1.3.2. SENS DE BRANCHEMENT ET POLARITÉ

1.3.3. CALIBRE

1.3.4. BRANCHEMENT, LECTURE

2. RÉGLAGE D'UN COURANT, RHÉOSTAT

2.1. BRANCHEMENT ET FONCTIONNEMENT D'UN RHÉOSTAT

3. EXEMPLE DE MESURES

3.1. RÉALISATION DU MONTAGE

3.2. CONDUITE DE LA MANIPULATION

3.3. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

3.4. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

MESURE ET RÉGLAGE D'UN COURANT CONTINU

1. AMPÈREMÈTRE À DÉVIATION

Un ampèremètre est théoriquement un appareil à deux (2) bornes qui, branché **en série** dans un circuit, indique **l'intensité du courant** qui parcourt le circuit.

Un ampèremètre à déviation (on dit encore **analogique**) comporte essentiellement un équipage mobile dont la rotation, autour d'un axe fixe, croît avec le courant qui le traverse ; cette rotation est repérée à l'aide d'une aiguille qui se déplace devant une graduation, appelée **échelle de lecture** (fig. 1).

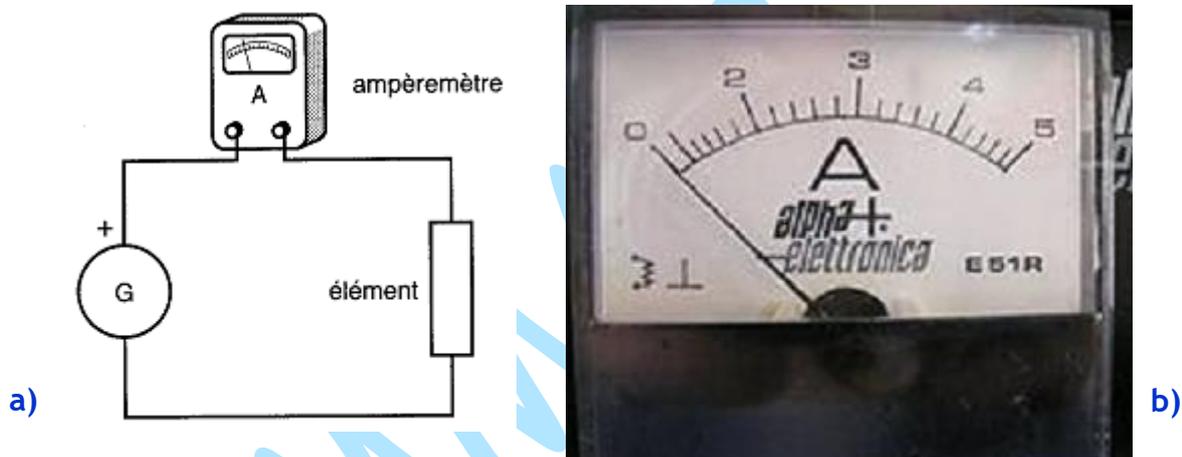


Figure 1 : a) Raccordement d'un ampèremètre ; b) Ampèremètre analogique.

1.1. SHUNTS ET CALIBRES

En principe un ampèremètre se branche donc en série dans un circuit où l'on veut mesurer le courant : en fait, dans le cas du courant continu, on dispose :

- ✓ Une faible résistance appelée **shunt** en série dans le circuit ;
- ✓ L'ampèremètre en parallèle sur ce shunt (fig. 2).

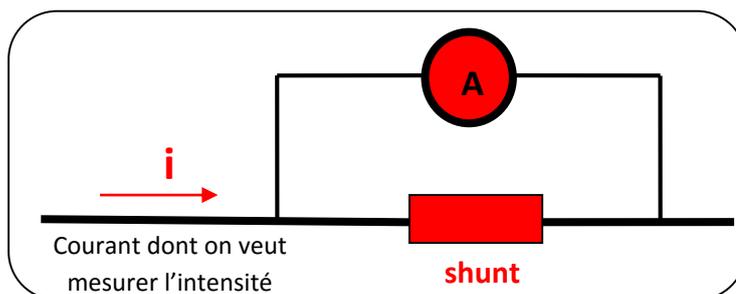
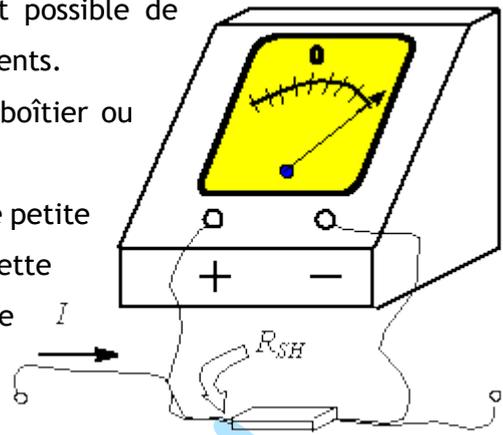


Figure 2 : Ampèremètre monté en parallèle sur son shunt.

Ainsi à l'aide d'un jeu de plusieurs shunts il est possible de mesurer, avec un même appareil, des courants très différents.

Ces shunts peuvent être placés à l'intérieur du boîtier ou indépendants de l'appareil.

Donc, un ampèremètre peut-être fait à l'aide d'une petite résistance placée en parallèle avec un galvanomètre. Cette résistance en parallèle, appelée **shunt**, ouvre un circuit de dérivation où normalement la plus grande partie du courant circule.



a) Shunts dans le boîtier

Ils sont disposés comme l'indique la **figure 3** ; l'appareil possède alors :

- ▶ Une borne positive (repérée par le signe **+**) ;
- ▶ Différents bornes négatives portant chacune une indication ; par exemple :

0,01 A 0,1 A 0,3 A 1 A 3 A 10 A

Cela signifie que, si l'on branche l'appareil entre la borne positive (**+**) et la borne **3 A**, l'aiguille dévie totalement lorsque l'instrument est traversé par un courant de **3 ampères**.

On dit que l'appareil est sur le **calibre 3 A**.

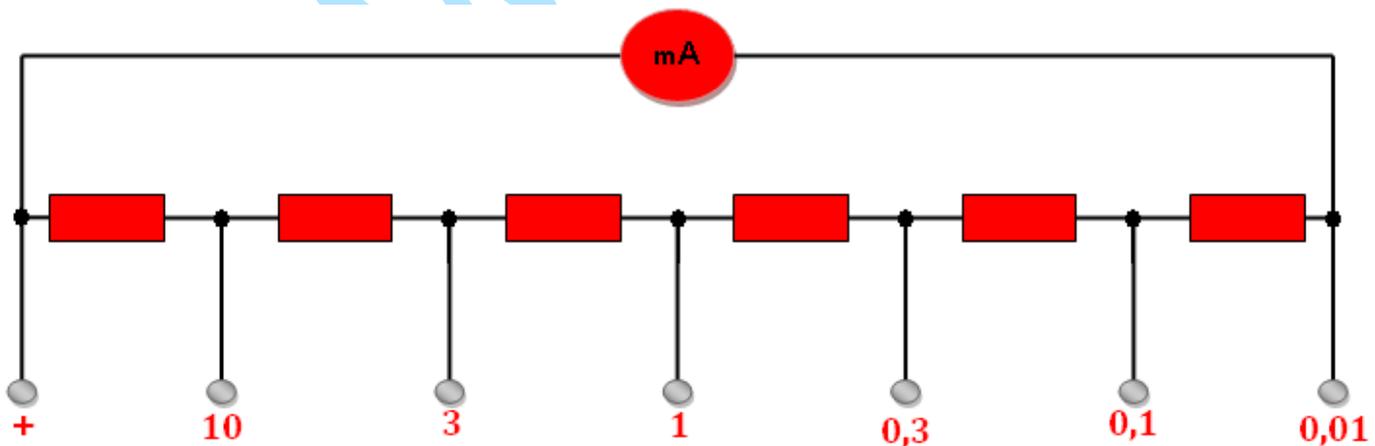


Figure 3 : shunts intérieurs d'un ampèremètre " multicalibre " .

Si la graduation comporte **N divisions**, une division correspond à $\frac{3}{N}$ ampères ; dans ce cas, lorsque l'aiguille s'immobilise devant la division " n " le courant a pour intensité :

$$I = n \times \frac{3}{N}$$

Exemple : $N = 150$ $n = 120$

$$I = 120 \times \frac{3}{150} = 2,4 \text{ A.}$$

D'une manière générale, si le calibre est C_a ampères, le courant produisant une déviation de n divisions a pour expression :

$$I = n \times \frac{C_a}{N}$$

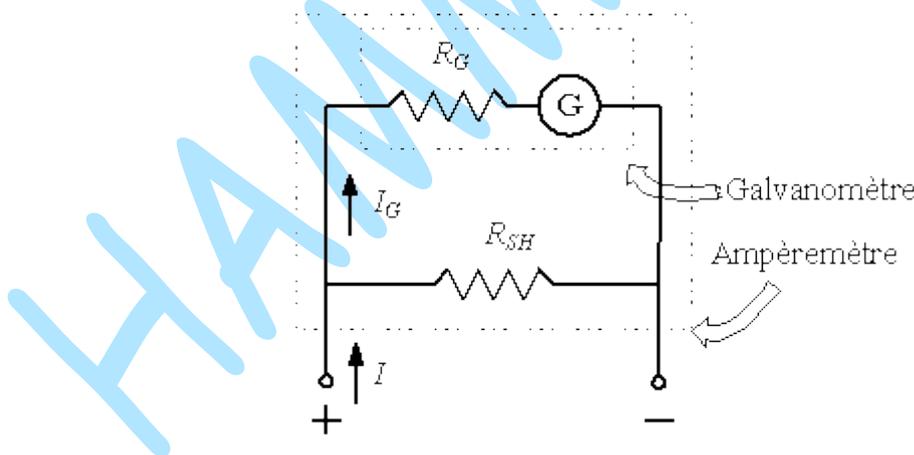
En conclusion, avec des shunts intérieurs, il est possible de mesurer les courants ayant une intensité inférieure ou égale (\leq) au calibre le plus élevé (10 A dans l'exemple de la **figure 3**).

La **résistance shunt** pour faire un ampèremètre ayant la gamme de mesure voulue est donnée par :

$$R_{shunt} = \frac{R_G I_G}{I - I_G}$$

Où	R_{shunt}	est la résistance shunt pour faire un ampèremètre	[Ω]
	R_G	est la résistance interne du galvanomètre	[Ω]
	I_G	est le courant maximal du galvanomètre	[A]
	I	est le courant maximal de l'ampèremètre	[A]

Le circuit équivalent de l'ampèremètre permettant de trouver l'expression de La **résistance shunt** est représenté comme suit :



La résistance interne de l'ampèremètre est donnée par :

$$\frac{1}{R_A} = \frac{1}{R_{shunt}} + \frac{1}{R_G} \Rightarrow R_A = \frac{R_{shunt} \times R_G}{R_{shunt} + R_G}$$

R_{shunt}	est la résistance shunt pour faire un ampèremètre	[Ω]
R_A	est la résistance interne de l'ampèremètre	[Ω]
R_G	est la résistance interne du galvanomètre	[Ω]

b) Shunts extérieur

On les utilise pour mesurer des courants supérieurs (\geq) au calibre le plus élevé ; ils se présentent comme une très faible résistance à 4 bornes (figure 4) :

- Deux (2) grosses bornes reliées au circuit sur lequel on effectue la mesure ;
- Deux (2) petites bornes reliées à la borne positive (+) et à une borne particulière (en général celle correspondant au plus petit calibre) de l'ampèremètre (fig. 5).

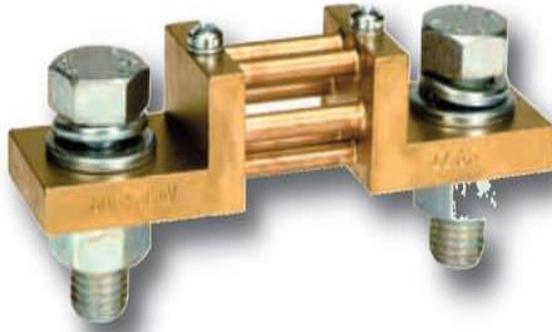
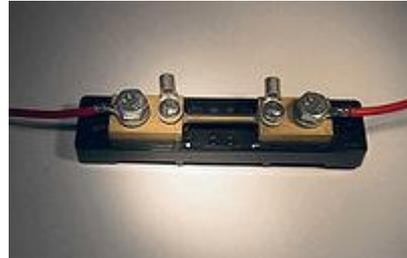


Figure 4: Shunts extérieurs.

Chaque shunt porte, en ampères, une indication qui correspond au calibre de l'ensemble shunt-ampèremètre, par exemple 20 A ; 50 A ; 100 A.

Avec le shunt 50 A, l'aiguille dévie totalement lorsque le courant à mesurer est de 50 A.

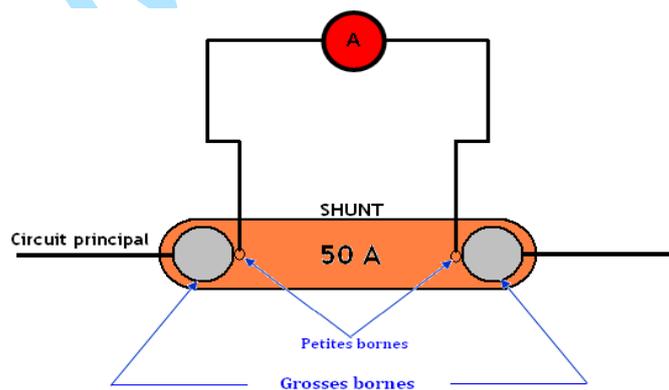


Figure 5: Ampèremètre branché sur un shunt de 50 A.

c) Graduations

Un ampèremètre à courant continu présente souvent deux (2) graduations chiffrées de façon différente ; par exemple (fig. 6) :

- Une graduation de 150 divisions portant les indications :
0 – 0,5 – 1 – 1,5 – 2 – 2,5 – 3 ;
- Une graduation de 100 divisions portant les indications :
0 – 1 – 2 – 3 ... 10.

Les deux graduations ont leurs extrémités qui coïncident ; on peut utiliser l'une ou l'autre pour obtenir le courant par la relation :

$$I = n \times \frac{C_a}{N}$$

Avec : N : nombre total de divisions de la graduation adoptée,
n : nombre de divisions de la déviation.

Exemple : Sur la figure 6, le calibre choisi étant 3 A, on lit $I = 1,8$ A.

Sur la figure 6, le calibre choisi étant 10 A, on lit $I = 6$ A.

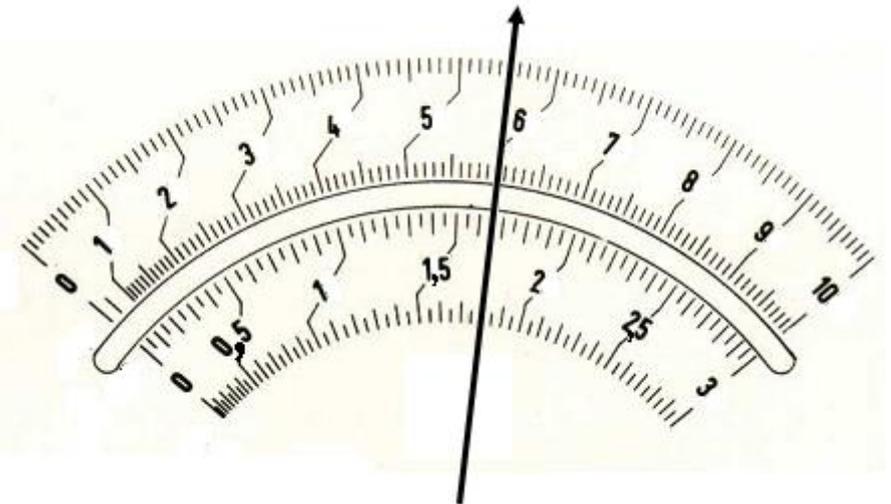
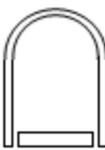
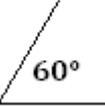
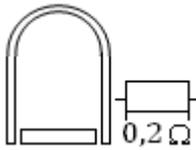
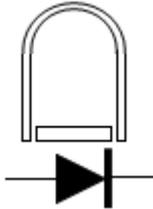


Figure 6 : Double graduations d'un ampèremètre représentant les calibres 0,01 – 0,1 – 0,3 – 1 – 3 – 10 A

1.2. INDICATIONS DONNÉES PAR LE CONSTRUCTEUR

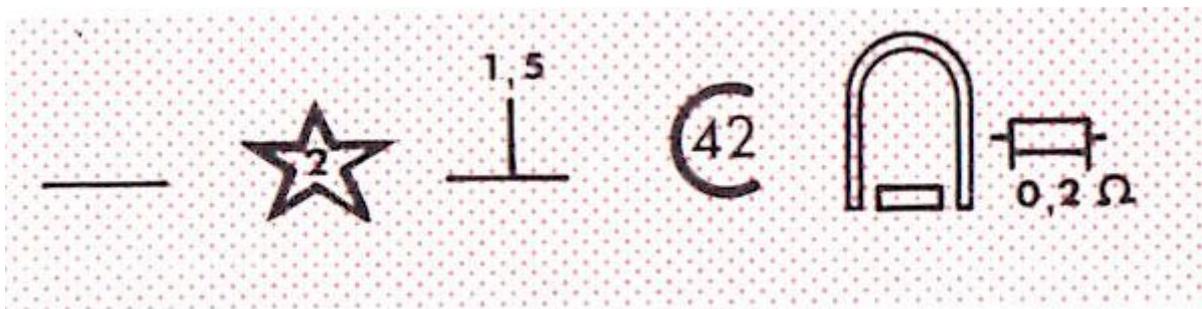
Un ampèremètre est en plus repéré par la lettre A placée au milieu du cadran ; cependant lorsque le plus grand calibre est inférieur à 1A (par ex. : 0,03 A = 30 mA) l'appareil est nommé milliampèremètre et porte l'indication mA ; avec des shunts extérieurs ce milliampèremètre permet de mesurer des courants dépassant son calibre maximal.

	Symboles		Symboles
Indication de la nature du courant :		Référence à la norme	
Continu		NF C 42_100	
Alternatif		(anciennement C28)	
Continu et alternatif			
		Phénomène intervenant dans le fonctionnement	
Tension d'épreuve diélectrique		Appareil	
Égale à 500 V		magnétoélectrique	
Supérieure à 500 V (2 kV par ex.)			
		ferromagnétique	
Position			
Appareil à utiliser en plaçant le cadran :			
Verticalement		électrodynamique	
Horizontalement		ferrodynamique	
Incliné (60° par ex.)		Magnétoélectrique Avec shunt extérieur et cordons de 0,2 Ω	
Classe de précision			
Classe de l'appareil (1,5 par ex.)	1,5	Magnétoélectrique avec redresseur incorporé	

La figure suivante, relevée sur le cadran d'un ampèremètre, indique que :

- ✓ L'appareil est à courant continu et sa tension d'épreuve est de 2 kV ;
- ✓ La classe est de 1,5 et le cadran doit être vertical ;

- ✓ L'appareil est conforme à la norme NF C 42100 et est de type magnétoélectrique.
- ✓ Le cordon utilisé dans le cas d'un shunt extérieur doit avoir une résistance de $0,2\Omega$.



1.3. UTILISATION D'UN AMPÈREMÈTRE

1.3.1. MONTAGE

Un ampèremètre se branche en série dans un circuit. Cela veut dire qu'il faut ouvrir le circuit à l'endroit où l'on souhaite mesurer l'intensité et placer l'ampèremètre entre les deux (2) bornes créées par cette ouverture du circuit. Pour que sa présence ne modifie pas l'intensité du courant à mesurer, sa résistance interne devrait être idéalement nulle.

1.3.2. SENS DE BRANCHEMENT ET POLARITÉ

Un ampèremètre mesure l'intensité circulant de la borne **A** (ou borne **+**) vers la borne **COM** (ou borne **-**) en tenant compte de son signe.

En général, l'aiguille des ampèremètres analogiques ne peut dévier que dans un sens. Cela impose de réfléchir au sens du courant et impose de câbler l'ampèremètre de manière à mesurer une intensité positive : on vérifie alors que la borne **+** de l'ampèremètre est reliée (éventuellement en traversant un ou plusieurs dipôles) au pôle **+** du générateur et que la borne **-** de l'ampèremètre est reliée (éventuellement en traversant un ou plusieurs dipôles) au pôle **-** du générateur.

1.3.3. CALIBRE

On appelle calibre la plus forte intensité que peut mesurer un ampèremètre.

Tous les appareils modernes sont multicalibres : on change de calibre soit en tournant un commutateur, soit en déplaçant une fiche.

Lorsqu'on utilise un ampèremètre analogique, il faut souvent éviter d'utiliser un calibre plus petit que l'intensité du courant. Cela impose de déterminer par le calcul un ordre de grandeur de cette intensité et de choisir le calibre en conséquence. Si on n'a aucune idée de l'ordre de grandeur de l'intensité que l'on va mesurer, et dépendant de la capacité de mesure de l'appareil utilisé (**10 A** à plus de **1000 A**), on peut dire que l'on ne risque pas grand-chose à calibrer

l'ampèremètre sur l'intensité maximum supportée par le circuit, puis diminuer progressivement jusqu'à ce qu'une intensité soit détectable.

1.3.4. BRANCHEMENT, LECTURE

Pour mesurer l'intensité d'un courant électrique dans un circuit, il faut :

1° choisir le type d'ampèremètre correspondant au courant à mesurer (continu ou alternatif) ;

2° placer le cadran dans la position convenable (horizontal, vertical, ...)

3° **Vérifier le zéro de l'appareil** : Si l'aiguille ne coïncide pas exactement avec le zéro de la graduation, il faut procéder à une " remise à zéro " à l'aide du dispositif de réglage prévu à cet effet ;

4° **Adopter le calibre convenable** : par exemple pour mesurer un courant de 8 A, il ne faut pas :

- Se placer sur le calibre de 2 A, sinon l'aiguille vient heurter violemment la butée de fin de course et l'appareil risque d'être détérioré,
- Adopter un shunt de 20 A, sinon la déviation est trop petite et la lecture est entachée d'une erreur importante.

Il est donc intéressant de connaître a priori l'ordre de grandeur du courant à mesurer ; dans le cas contraire il est prudent de choisir le plus grand calibre possible pour ensuite, trouver par tâtonnement le calibre convenable ;

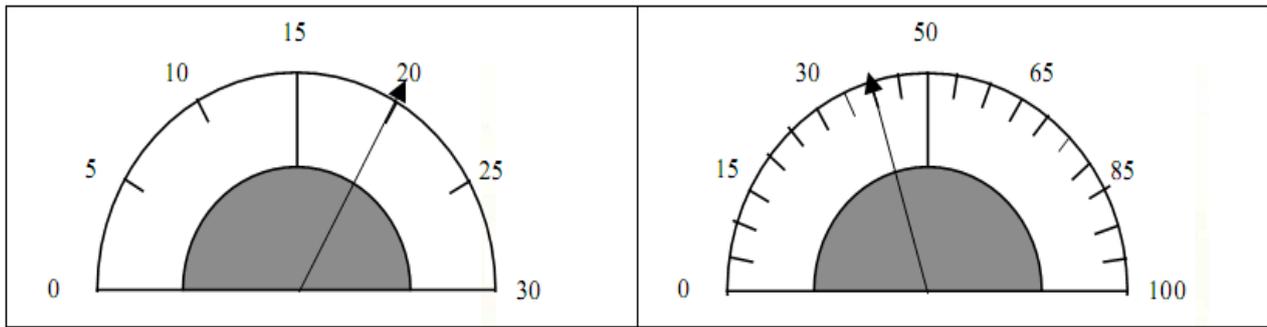
- Disposer l'appareil, ou son shunt extérieur, **en série dans le circuit en respectant les polarités** ;
- Faire la lecture en faisant coïncider l'extrémité de l'aiguille avec son image donnée par le miroir disposé dans le cadran. L'aiguille se déplace sur une graduation commune à plusieurs calibres. L'indication lue ne présente qu'un nombre de divisions. Il faut donc déduire l'intensité à partir de ce nombre en tenant compte de la valeur du calibre en faisant un calcul, sachant que la graduation maximale correspond au calibre.

Le plus souvent l'aiguille s'immobilise entre deux (2) traits de la graduation ; par **exemple** : entre le trait **87** et le trait **88**, il faut alors estimer la fraction de division entre le trait **87** et la position de l'aiguille : on admet qu'il est facile d'estimer le **quart de division**. La lecture sera, par exemple :

$$n = 87 + \frac{3}{4} = 87,75$$

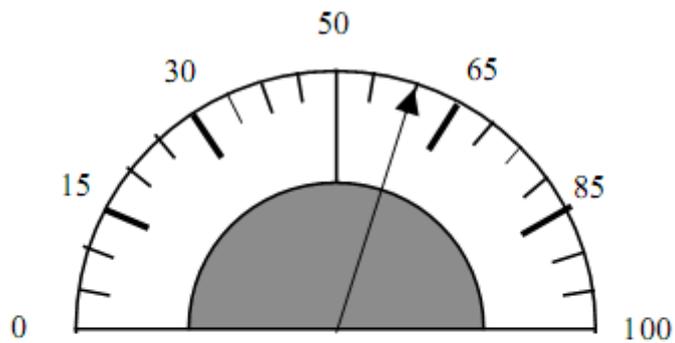
Lors de l'utilisation d'un ampèremètre analogique, plusieurs données sont importantes :

- Le nombre total de graduations (nombre **N**). Le nombre total de graduations est généralement un **multiple de 3** ou de **10** :



- La position de l'aiguille (nombre " n ") ;
- Le calibre de réglage de l'ampèremètre (nombre C_a).

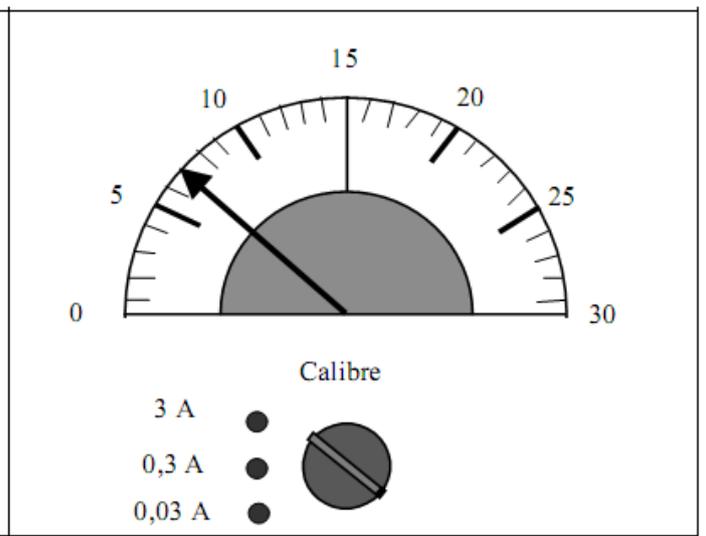
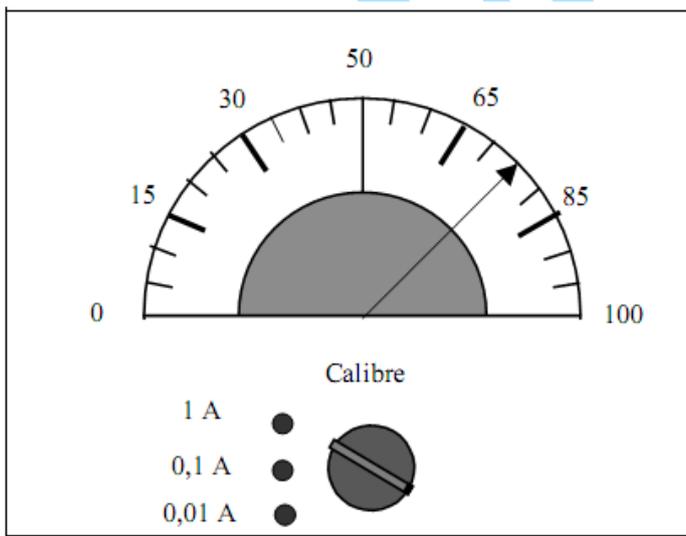
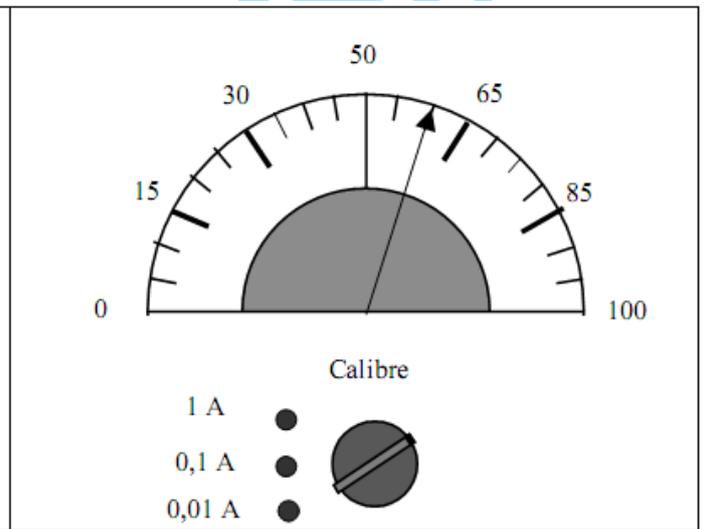
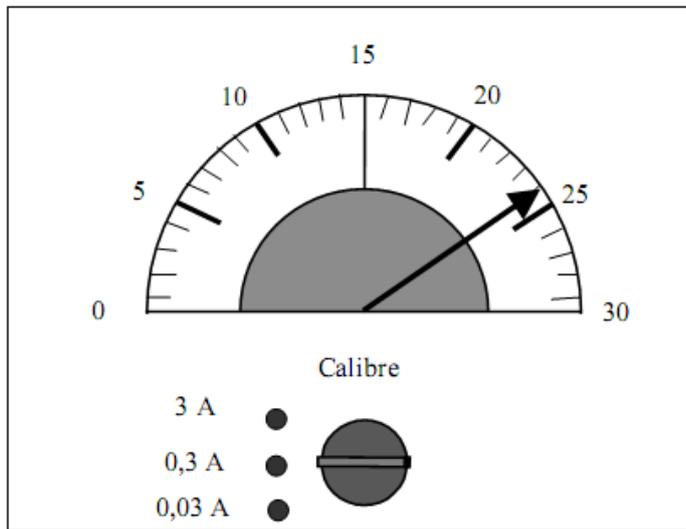
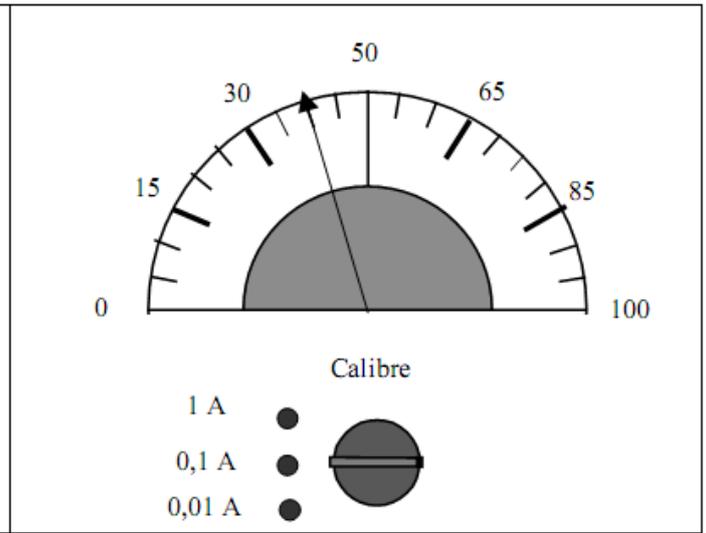
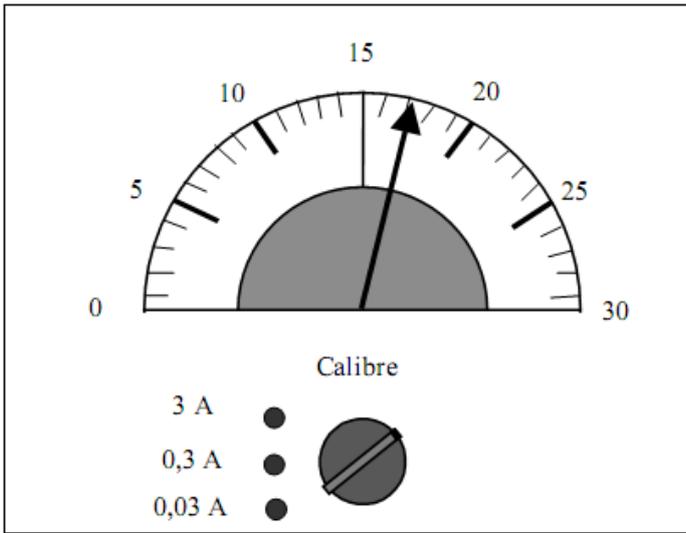
Le calibre correspond à l'intensité que représente la plus grande graduation :



	Calibre
1 A	●
0,1 A	●
0,01 A	●



EXERCICE 1: Calculer les intensités à partir des schémas d'écran des ampèremètres analogiques suivants.



MESURE DE L'INTENSITÉ

Pourquoi et comment mesurer l'intensité ?

Pourquoi ?

- ✓ Vérifier que l'intensité absorbée par un récepteur est conforme.
- ✓ Mesurer le courant absorbé par une installation.
- ✓ Pour effectuer des réglages de protection.

Comment ?

- L'intensité du courant se mesure avec un **AMPÈREMÈTRE**, ou une **PINCE AMPÈREMÉTRIQUE** ou un **multimètre en position "A"**.
- L'ampèremètre se **branche en SÉRIE** dans un circuit, on utilisera de préférence une pince ampèremétrique. Cette dernière entoure le conducteur de phase du circuit dont on veut connaître l'intensité.
- Il ne doit jamais être branché en dérivation dans le circuit

En fonction de **la nature de la source d'alimentation** (Alternatif ou Continu), il faudra sélectionner sur l'ampèremètre la **position "AC" si c'est de l'alternatif et "DC" si c'est en continu**.

Exemple 1 : Mesure de l'intensité absorbée par le chauffe-eau électrique, position de l'appareil "**A AC**".

Exemple 2 : Mesure de l'intensité absorbée par le démarreur d'une BMW M5, position de l'appareil "**A DC**".

Mesure d'une intensité : mesure du courant de fuite, la pince entoure le conducteur PE.



Mesure de l'intensité absorbée par un chauffe-eau, la pince entoure la phase

MESURE ET RÉGLAGE D'UN COURANT CONTINU

2. RÉGLAGE D'UN COURANT, RHÉOSTAT

2.1. BRANCHEMENT ET FONCTIONNEMENT D'UN RHÉOSTAT

a) Principe

Un rhéostat est un conducteur passif (fig. 7) :

- ☞ Dont la résistance r est réglable entre 0 et R ;
- ☞ Disposé en série dans un circuit (fig. 8).

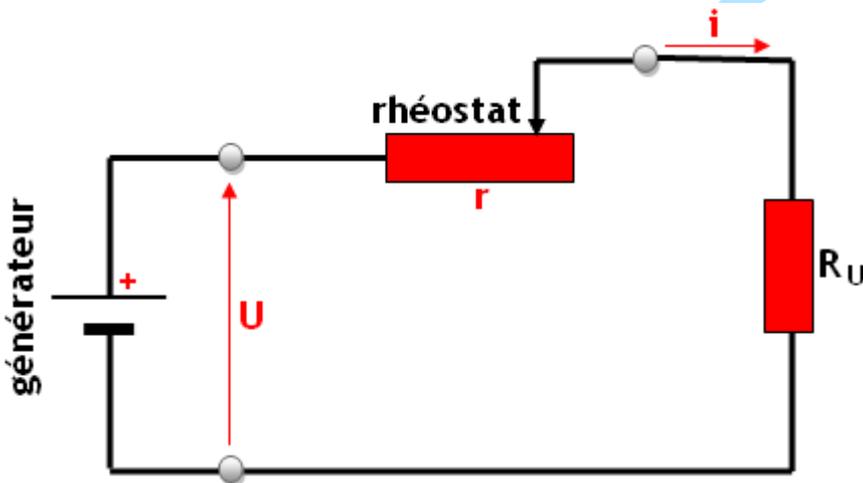


Figure 8 : Disposition d'un rhéostat dans un circuit.

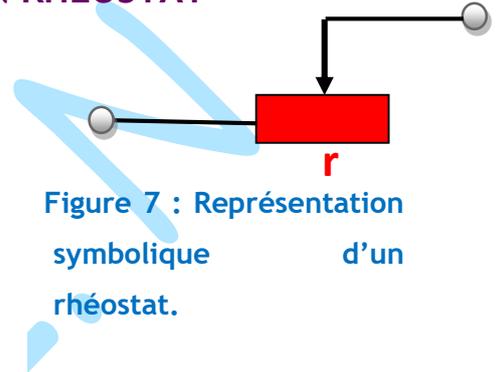


Figure 7 : Représentation symbolique d'un rhéostat.

Il est destiné à régler le courant dans le circuit. La loi d'Ohm nous donne :

$$U = (r + R_u) I \Rightarrow I = \frac{U}{r + R_u}$$

En conséquence, lorsque :

- ✓ $r = 0$, I est maximal et égal à $\frac{U}{R_u}$;
- ✓ r augmente, I décroît ;
- ✓ r prend sa valeur maximale R , I est minimal et égal à $I = \frac{U}{R + R_u}$.

b) Choix d'un rhéostat

Les deux caractéristiques essentielles (données par le constructeur) d'un rhéostat sont :

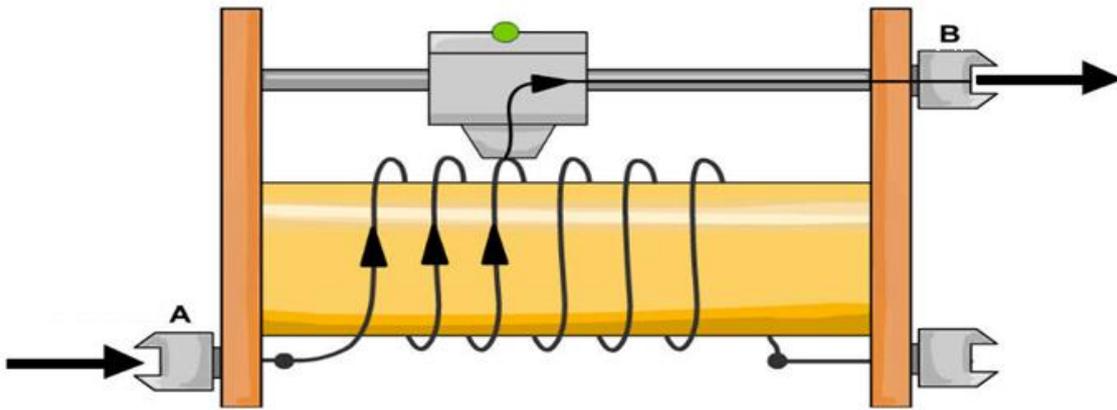
- La valeur maximale R de sa résistance ;
- Le courant maximal I_M admissible sans risque de détérioration du rhéostat.

Considérons un circuit à courant continu alimenté sous une tension U et comprenant un récepteur passif de résistance R_u . Cherchons le rhéostat à disposer en série avec ce récepteur pour pouvoir faire varier le courant

Depuis une valeur minimale I_1 ,
 Jusqu'à une valeur maximale I_2 .

- Le rhéostat doit supporter le courant I_2 sans être détériorée : il faut donc que son courant I_M soit tel que $I_M \leq I_2$
- La résistance r du rhéostat doit être égale :
 - ❖ Pour le courant I_1 , à r_1 tel que $I_1 = \frac{U}{r_1 + R_u}$
 - ❖ Pour le courant I_2 , à r_2 tel que $I_2 = \frac{U}{r_2 + R_u}$

Comme $I_2 > I_1 \Rightarrow r_2 < r_1$; la valeur r doit ainsi varier entre r_2 et r_1 . Il faut donc que la résistance maximale R du rhéostat soit telle que : $R \geq r_1$.



3. EXEMPLE DE MESURES

On vous propose d'apprendre à :

- ✓ Choisir judicieusement un rhéostat ;
- ✓ Choisir un ampèremètre et le brancher en adaptant au mieux le calibre ;
- ✓ Faire des lectures convenables et présenter correctement les résultats des mesures.

Un élément d'accumulateur délivrant une tension de 2 V alimente un récepteur passif de résistance $R_u = 2\Omega$ et pouvant supporter au maximum un courant de $0,75\text{ A}$.

On désire faire varier le courant débité :

- Depuis $I_1 = 0,15\text{ A}$ environ ;
- Jusqu'à $I_2 = 0,65\text{ A}$ environ.

On vous demande de :

- I. Réaliser le montage :
 - a) Choix du rhéostat ; b) Choix de l'ampèremètre ; c) Montage.
- II. Décrire la conduite de la manipulation.
- III. Représenter les résultats de l'expérience en traçant les valeurs du courant I dans le circuit en fonction de la résistance r du rhéostat dont voici le tableau de mesure :

r en ohms	Intensité du courant		
	Nombre de divisions Calibre adopté	Déviations " n "	I en mA
1	100 – 1 A	67,25	
2	100 – 1 A	50	
3	100 – 1 A	39,5	
4	100 – 1 A	33,5	
5	150 – 0,3 A	142,5	
6	150 – 0,3 A	126	
7	150 – 0,3 A	111,25	
8	150 – 0,3 A	100,5	
9	150 – 0,3 A	91	
10	150 – 0,3 A	82,5	
11	150 – 0,3 A	73,5	

IV. Interpréter vos résultats.

3.1. RÉALISATION DU MONTAGE

a) Choix du rhéostat

$$I = \frac{U}{r + R_u} \Rightarrow r + R_u = \frac{U}{I} \Rightarrow r = \frac{U}{I} - R_u, \text{ r étant la résistance du rhéostat.}$$

La résistance du rhéostat doit être :

- Pour $I_1 = 0,15 \text{ A} \Rightarrow r_1 = \frac{2}{0,15} - 2 \approx 11\Omega$.
- Pour $I_2 = 0,65 \text{ A} \Rightarrow r_2 = \frac{2}{0,65} - 2 \approx 1\Omega$.

Donc $r \leq 11\Omega$ et $I_{max} \leq 0,65 \text{ A}$.

Nous adopterons une boîte à décades $11 \times 1 \text{ ohm}$ pouvant supporter $0,75 \text{ A}$.

b) Choix de l'ampèremètre

Il doit pouvoir mesurer des courants jusqu'à $0,65 \text{ A}$, nous adopterons par exemple, un ampèremètre présentant en particulier les calibres $0,3 \text{ A}$ et 1 A .

c) Montage

Il comporte (fig. 9) :

- ❖ Un générateur (élément d'accumulateur de f. é. m 2 V et de résistance négligeable) ;
- ❖ Un récepteur passif (par exemple, boîte à décades $11 \times 1 \Omega$; 0,75 A, sur la position 2) ;
- ❖ Un rhéostat (boîte à décades $11 \times 1 \Omega$; 0,75 A) ;
- ❖ Un ampèremètre (calibres 0,01-0,1-0,3-1-3-10 A) ;
- ❖ Deux interrupteurs unipolaires K_1 et K_2 .

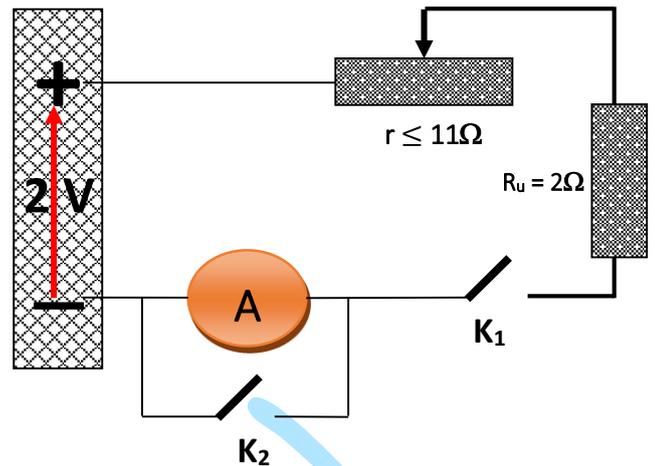


Figure 9

3.2. CONDUITE DE LA MANIPULATION

1. Les interrupteurs K_1 et K_2 étant ouverts, on place le rhéostat sur la position 1. Comme le courant sera nécessairement inférieur à 1 A (la tension est de 2 V et $r + R_u > 2\Omega$) on adopte pour l'ampèremètre le calibre 1 A (après avoir vérifié son zéro).

2. On ferme K_1 et on lit la déviation de l'ampèremètre : soit n divisions. Avec le calibre 1 A, on a intérêt à lire n sur la graduation comportant 100 divisions ; de cette façon :

$$I = n \times \frac{1}{100} \text{ ampère} = 10 \times n \text{ milliampères}$$

3. On augmente, Ω par Ω en tournant la tourelle, la résistance r du rhéostat. Pour chaque valeur de r on repère soigneusement la déviation de l'ampèremètre :

- ✓ En évitant les erreurs de parallaxe (miroir),
- ✓ En estimant le $\frac{1}{4}$ de division.

4. Pour les valeurs de $r > 4\Omega$, la valeur de I est inférieure ($I < 0,3 \text{ A}$) à 0,3 A ; il faut alors :

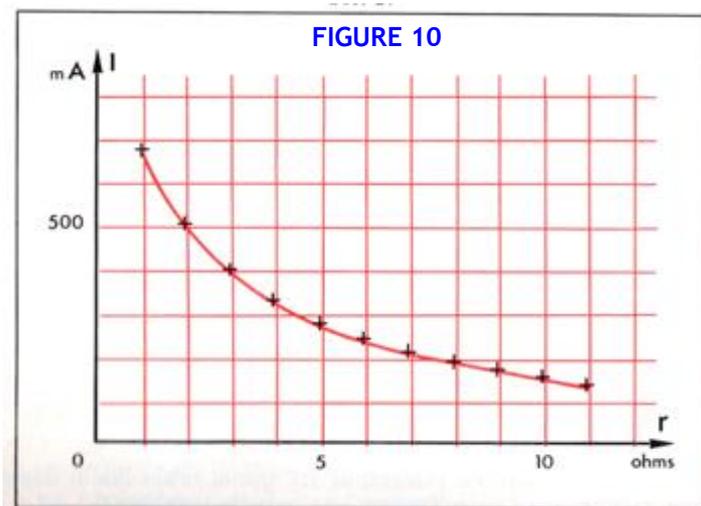
- ✓ Court-circuiter l'ampèremètre (afin de le mettre hors service sans interrompre le courant dans le circuit) ; pour cela, on ferme K_2 .
- ✓ Passer sur le calibre 0,3 A et remettre l'appareil en service en ouvrant K_2 .
- ✓ Lire les déviations sur la graduation comportant 150 divisions, de façon que :

$$I = n \times \frac{0,3}{150} \text{ ampère} = (2 \times n) \text{ mA}$$

3.3. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

a) Tableau des mesures

r (Ω)	I (mA)
1	672,5
2	500
3	395
4	335
5	285
6	252
7	222,5
8	201
9	182
10	165
11	147



b) Courbe

La **figure 10** représente les variations du courant **I** dans le circuit en fonction de la résistance **r** du rhéostat.

3.4. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

a. Si on admet que la résistance du générateur est négligeable et que sa f. é. \mathcal{E} est exactement **2 V**, le courant est donné par la relation : $I = \frac{\mathcal{E}}{r + 2}$ en ampère ou $I = \frac{2000}{r + 2}$ en mA.

La courbe $I = f(r)$ est une branche d'**hyperbole équilatérale** admettant pour asymptote l'axe des abscisses et la verticale d'abscisse $(- 4 \Omega)$.

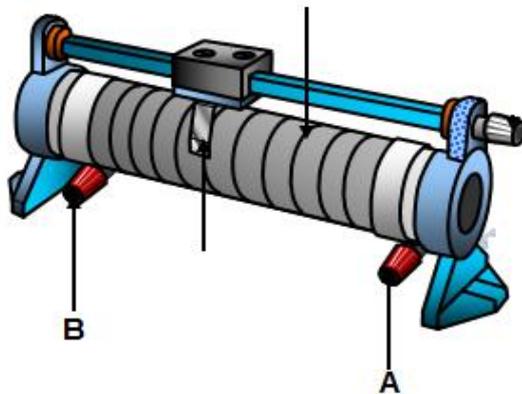
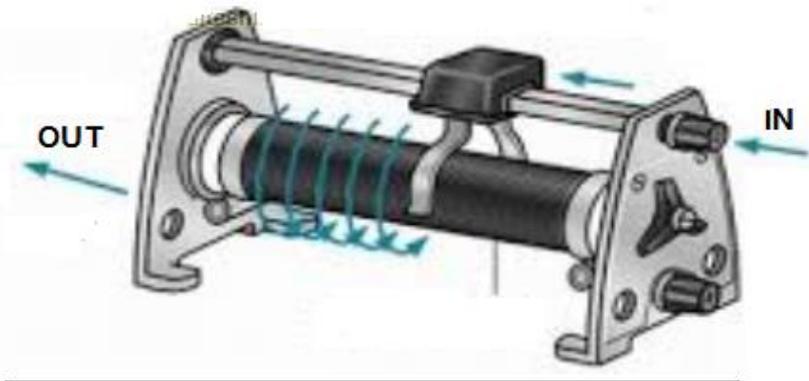
La courbe obtenue expérimentalement correspond bien, à celle prévue.

b. Pour $r = 6\Omega$, par exemple :

- ✓ Le courant mesuré est **252 mA** ;
- ✓ Le courant calculé est : $I = \frac{2000}{6+2} = 250 \text{ mA}$.

La différence entre ces deux valeurs est due :

- Aux faits que la f. é. m n'est pas exactement de 2 V , que la résistance du générateur n'est pas rigoureusement nulle, que les résistances r et R_u ne sont pas exactement égales aux valeurs indiquées (6Ω et 2Ω).
- Aux diverses erreurs entraînées par l'ampèremètre.



HAN



MESURE ET RÉGLAGE D'UNE TENSION CONTINUE

1. LES VOLTMÈTRES

1.4. VOLTMÈTRE À DÉVIATION

1.5. LES DONNÉES " CONSTRUCTEUR "

1.6. MESURES DE TENSIONS AUX BORNES DE DIPÔLES ISOLÉS (NON MONTÉS DANS UN CIRCUIT)

1.7. LES LOIS DES TENSIONS

1.7.1. LOIS DES TENSIONS DANS UN CIRCUIT EN SÉRIE

1.7.2. LOIS DES TENSIONS DANS UN CIRCUIT EN DÉRIVATION

1.7.3. TENSION AUX BORNES DE L'INTERRUPTEUR

2. RÉGLAGE D'UNE D. D. P.

2.1. LE POTENTIOMÈTRE

2.2. AUTRES MOYENS DE RÉGLAGE

MESURE ET RÉGLAGE D'UNE TENSION CONTINUE

1. LES VOLTMÈTRES

1.1. VOLTMÈTRE À DÉVIATION

a) Rappel de principe

Pour mesurer la tension (ou d. d. p.) entre deux (2) points M et N d'un circuit il suffit de disposer, entre ces deux points, en parallèle avec le circuit, un milliampèremètre en série avec une résistance R (R est dite **résistance additionnelle**).

En effet, la déviation de l'aiguille étant proportionnelle au courant I, qui traverse l'appareil (fig. 1) :

$$I_V = \frac{U}{R + R'} \quad (R' \text{ étant la résistance du milliampèremètre}).$$

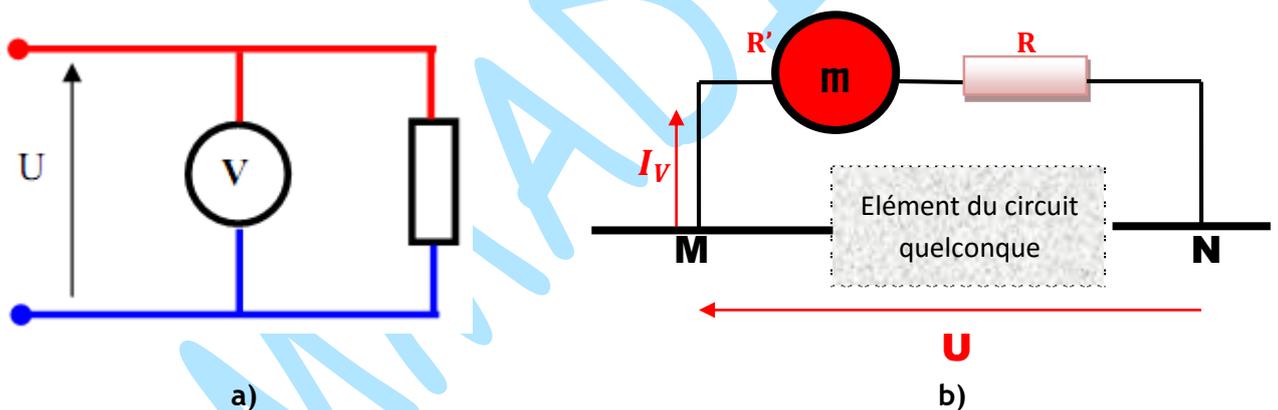


Figure 1 : a) Raccordement d'un voltmètre ; b) Principe du voltmètre à déviation.

Cette **dévi**ation est aussi proportionnelle à la d. d. p. U ; il est donc possible de graduer directement l'appareil en volts, donc d'en faire un **voltmètre**.

Un **voltmètre à déviation** est ainsi constitué d'un milliampèremètre, gradué en volts, en série avec une résistance additionnelle.

b) résistances additionnelles et calibres

En utilisant diverses résistances additionnelles, on peut réaliser, avec un même équipement mobile, un **voltmètre** présentant **plusieurs calibres**.

Exemple : le voltmètre A. O. I. P H 416 possède six (6) calibres (fig. 2) :

3 V 10 V 30 V 100 V 300 V 1000 V

L'appareil doit être branché entre : $\left\{ \begin{array}{l} \text{la borne positive (repérée par le signe +)} \\ \text{et l'une des six autres bornes.} \end{array} \right.$

Si la borne adoptée est celle correspondant à l'indication **30 V**, l'aiguille dévie totalement lorsque l'instrument est soumis à une tension de **30 volts**.

Avec une graduation comportant **N divisions**, chaque division correspond à **30 / N** volt ; lorsque l'aiguille s'immobilise devant la division " n ", la tension est égale à :

$$U = n \times \frac{30}{N}$$

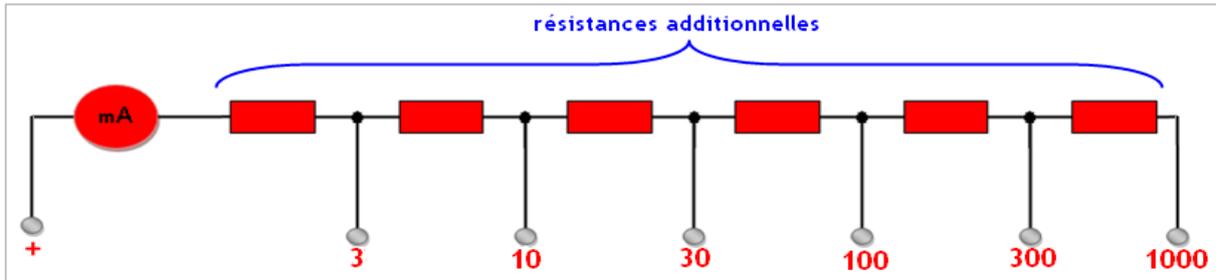


Figure 2 : Principe du voltmètre " multicalibres ".

Si $N = 100$ et $n = 75 \Rightarrow U = 75 \times \frac{30}{100} = 22,5 \text{ V}$.

D'une manière générale, si le calibre est C_v volts, la d. d. p. produisant une déviation de n divisions a pour expression :

$$U = n \times \frac{C_v}{N}$$

Comme les ampèremètres, les voltmètres présentent souvent plusieurs échelles chiffrées de façon différente afin de déterminer plus rapidement la tension mesurée.

Exemple : le voltmètre précédemment décrit possède une seule échelle de **100 divisions**, mais deux (2) graduations :

- ⊗ l'une de **0 à 300** ;
- ⊗ l'autre de **0 à 100** (fig. 3).

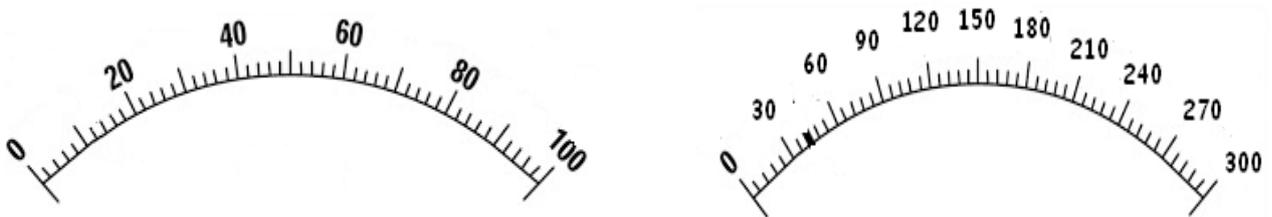
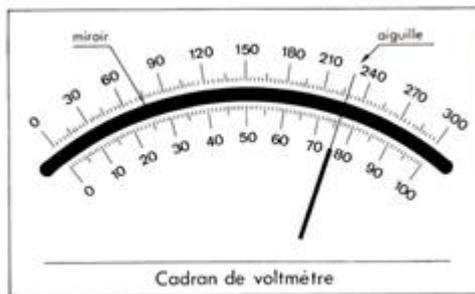


Figure 3 : voltmètre à 1 seule échelle mais 2 graduations.
Zoom sur les 2 graduations : (0 à 100) et (0 à 300).

Avec le **calibre 300 V**, la tension se lit directement en volts sur la graduation **0 - 300** ; si l'aiguille n'est pas exactement en face d'une division chiffrée, il suffit de savoir que **1 division** correspond à **3 V**.

Sur la **figure 3**, le calibre choisi étant **300 V**, on lit **$U = ..228... V$** .

L'échelle **0 - 300** est encore très pratique pour :

- le **calibre 3 V** (les lectures doivent être divisées par **100**) ;
- le **calibre 30 V** (les lectures doivent être divisées par **10**).

Avec le **calibre 100 V**, la tension se lit directement en volts sur la graduation **0 - 100** ; chaque **division** correspond à **1 V**.

Sur la **figure 3**, le calibre choisi étant **100 V**, on lit **$U = ..76... V$** .

L'échelle **0 - 100** est aussi très pratique pour :

- le **calibre 10 V** (les lectures doivent être divisées par **10**) ;
- le **calibre 1000 V** (les lectures doivent être multipliées par **10**).

c) Indications portées sur le cadran

Ces indications et les symboles utilisés sont les mêmes que pour un ampèremètre (**fig. 4**) ; bien entendu la lettre **A** est remplacée par la lettre **V** (ou le symbole **mV**).

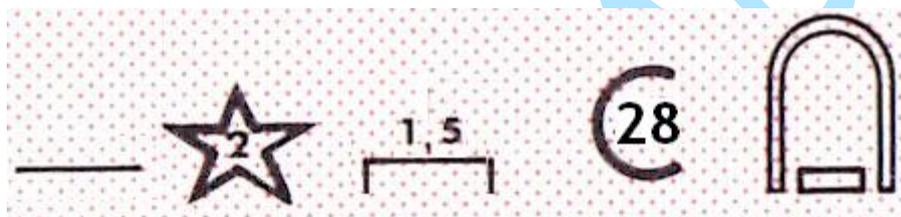


Figure 4 : Symboles portés par le cadran du voltmètre H 416.

d) Lecture

Pour les mesures en courant continu, il faut :

- ☞ Que le bouton " continu-alternatif " soit correctement disposé (**fig. 5**) ;
- ☞ Effectuer les lectures sur les échelles convenables (généralement chiffrées en noir).

RAPPEL : Pour mesurer les tensions en régime continu, il est possible d'utiliser les **multimètres**.

Il suffit de choisir (avec le commutateur ou le sélecteur) :

- La fonction " voltmètre continu " (repérée par le symbole **VDC**) ;
- Le calibre convenable ;

et surtout faire la lecture sur l'échelle correspondante.

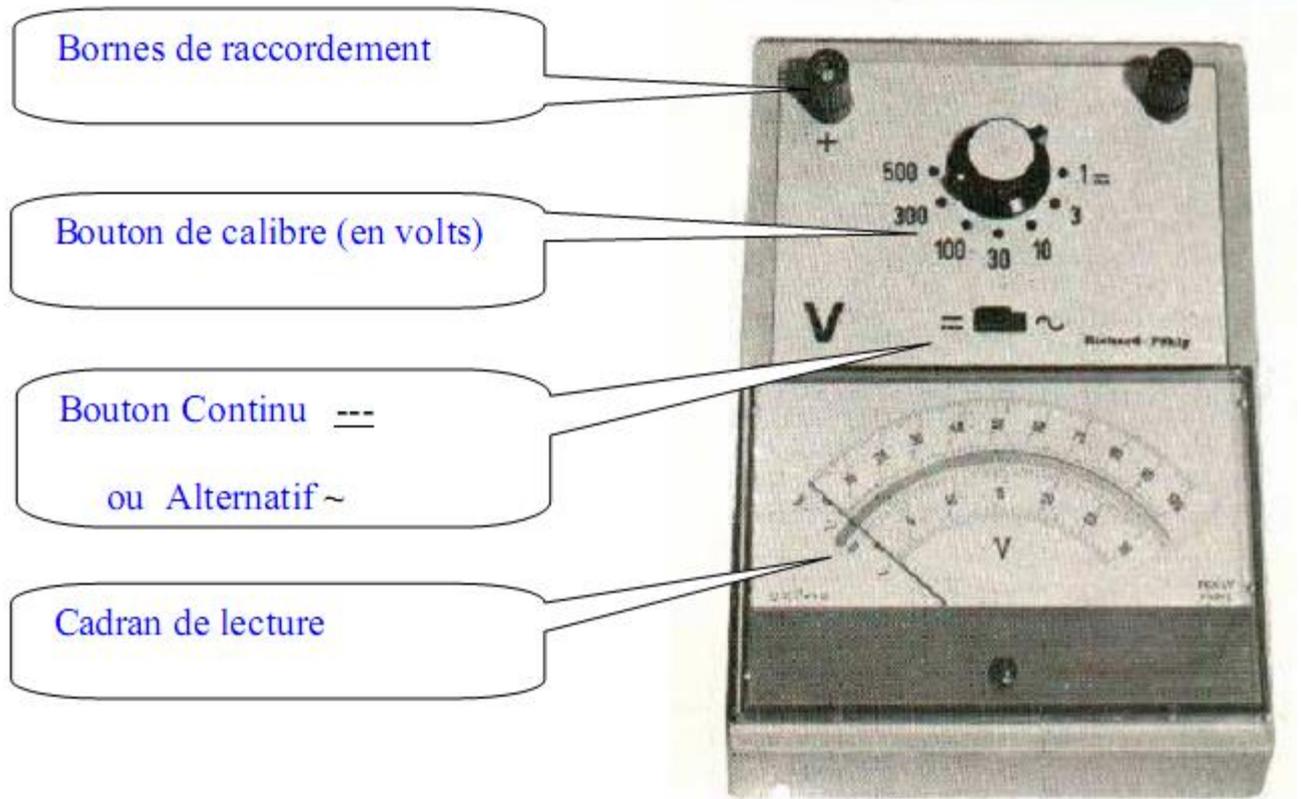
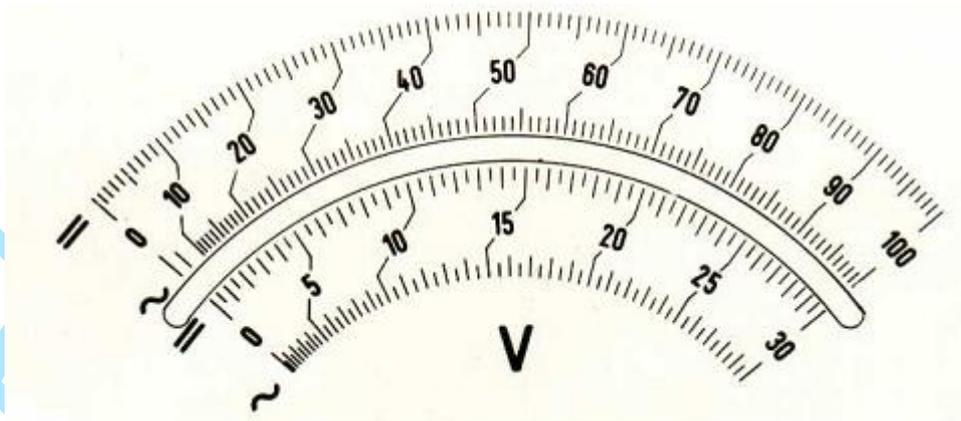


Figure 5 : Voltmètre analogique.

Les détails du cadran de lecture du voltmètre de la **figure 5** dont quatre (4) échelles possibles sont représentés par la figure ci-dessous :



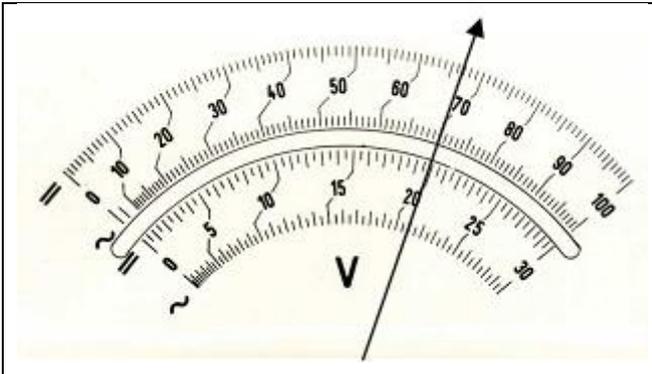
e) Exemples de lecture sur un voltmètre

On rappelle qu'on doit :

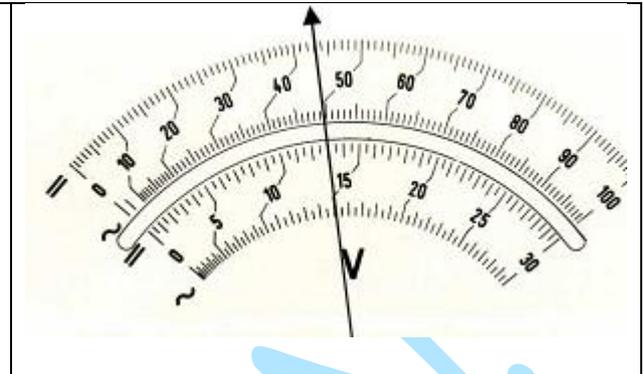
1. Brancher l'appareil de mesure (deux cordons de couleurs différentes) aux de la tension à mesurer
2. Choisir le calibre le plus élevé et la position continue (DC) ou alternatif ~ (AC).
3. Allumer le courant.
4. Noter sur un brouillon la déviation de l'aiguille sur l'échelle choisie.

5. Appliquer la formule suivante pour connaître la tension :

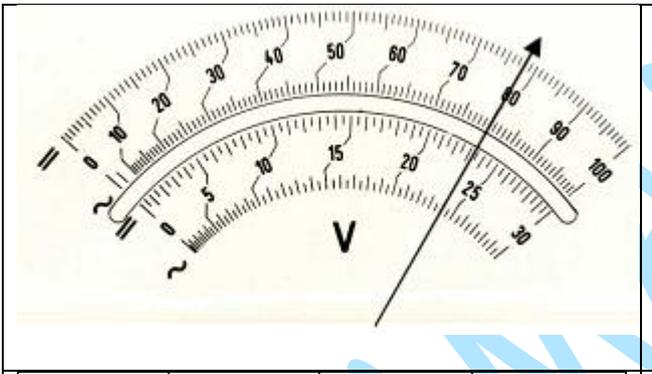
$$U = \frac{\text{calibre}}{\text{échelle}} \times \text{lecture (résultat en volts)}$$



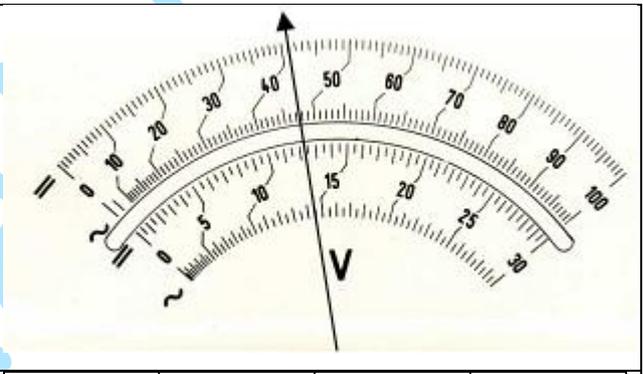
Calibre	Echelle	Lecture	Valeur
300 V	100 ~	n = 70



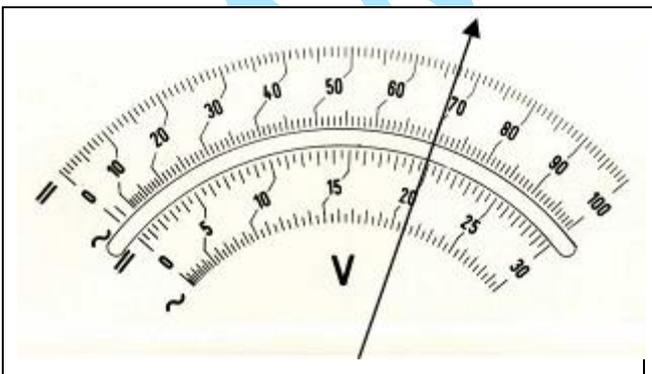
Calibre	Echelle	Lecture	Valeur
100 V	100 ...	n = 43



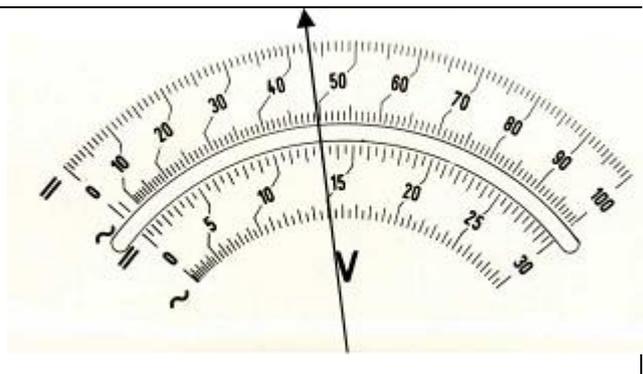
Calibre	Echelle	Lecture	Valeur
30 V	30 ~	n = 24



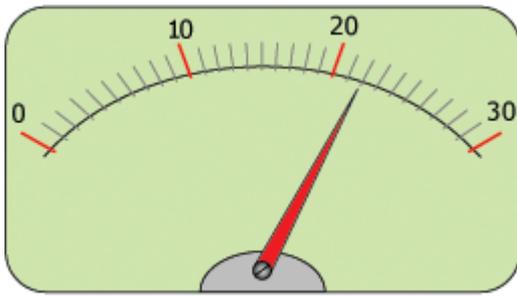
Calibre	Echelle	Lecture	Valeur
500 V	100 ...	n = 41



Calibre	Echelle	Lecture	Valeur
30 V	100 ~	n = 70



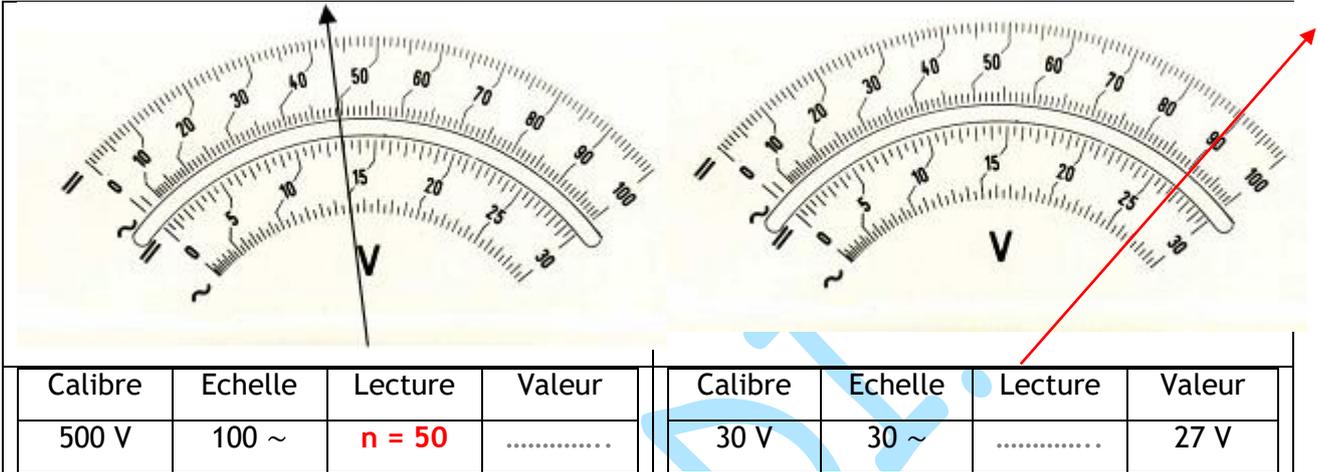
Calibre	Echelle	Lecture	Valeur
10 V	100 ...	n = 43



Affichage analogique



Affichage numérique



1.2. LES DONNÉES " CONSTRUCTEUR "

Les indications fournies par le constructeur d'un appareil électrique sont dites " **nominales** ".

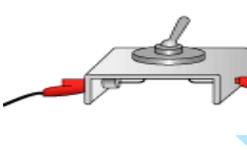
- ✓ Le chiffre en " **V** " (volt) représente la **tension nominale** de l'appareil.
- ✓ Le chiffre en " **A** " (ampère) représente l'**intensité nominale** de l'appareil.

LAMPE D'INDICATION : 6 V / 100 mA	GÉNÉRATEUR			
	Tension nominale 1,5 V	Tension nominale 4,5 V	Tension nominale 6 V	Tension nominale 9 V
	Brille très faiblement	Brille faiblement	Brille normalement	Brille fortement et risque de griller

- Quand les **tensions nominales** du générateur et du récepteur sont **voisines**, le récepteur fonctionne normalement. Le **générateur** et le **récepteur** sont **adaptés**.
- Si la **tension nominale** du générateur est supérieure à la **tension nominale** de la lampe, celle-ci brille fortement et risque d'être détériorée. La lampe est en **surtension**.
- Si la **tension nominale** du générateur est inférieure à la **tension nominale** de la lampe, celle-ci brille faiblement. La lampe est en **sous-tension**.

1.3. MESURES DE TENSIONS AUX BORNES DE DIPÔLES ISOLÉS (NON MONTÉS DANS UN CIRCUIT)

- ☑ Les seuls dipôles isolés qui possèdent toujours une tension électrique sont les générateurs.
- ☑ La tension aux bornes d'un fil électrique est toujours nulle.
- ☑ Un récepteur isolé ne possède pas de tension à ses bornes.

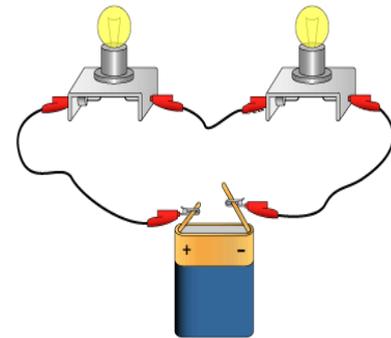
Dipôle isolé				
Tension mesurée	4,5 V	0 V	PAS DE TENSION	PAS DE TENSION

1.4. LES LOIS DES TENSIONS

Un récepteur traversé par un courant possède une tension électrique entre ses bornes.

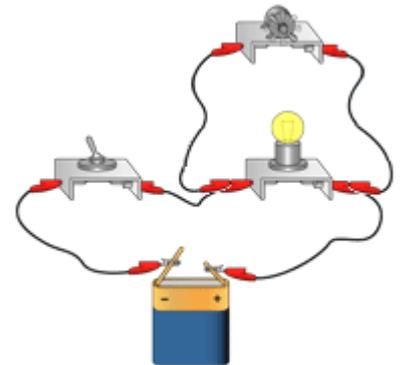
1.4.1. LOIS DES TENSIONS DANS UN CIRCUIT EN SÉRIE

Dans un circuit série, la tension aux bornes du générateur est égale à la tension aux bornes des récepteurs. C'est **la loi d'additivité des tensions**.



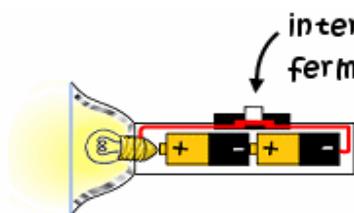
1.4.2. LOIS DES TENSIONS DANS UN CIRCUIT EN DÉRIVATION

La valeur de la tension est la même aux bornes de deux (2) dipôles en dérivation. C'est **la loi d'égalité des tensions**.

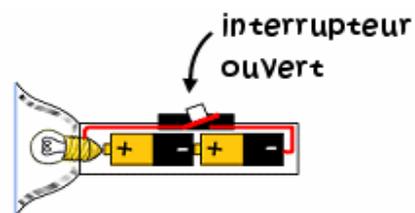


1.4.3. TENSION AUX BORNES DE L'INTERRUPTEUR

- ☞ Lorsque l'interrupteur est ouvert, il " bloque " l'ordre pour que le courant passe. On mesure à ses bornes la tension du générateur.
- ☞ Lorsque l'interrupteur est fermé, il se comporte comme un fil et on mesure à ses bornes aucune tension (zéro volt : 0 V).

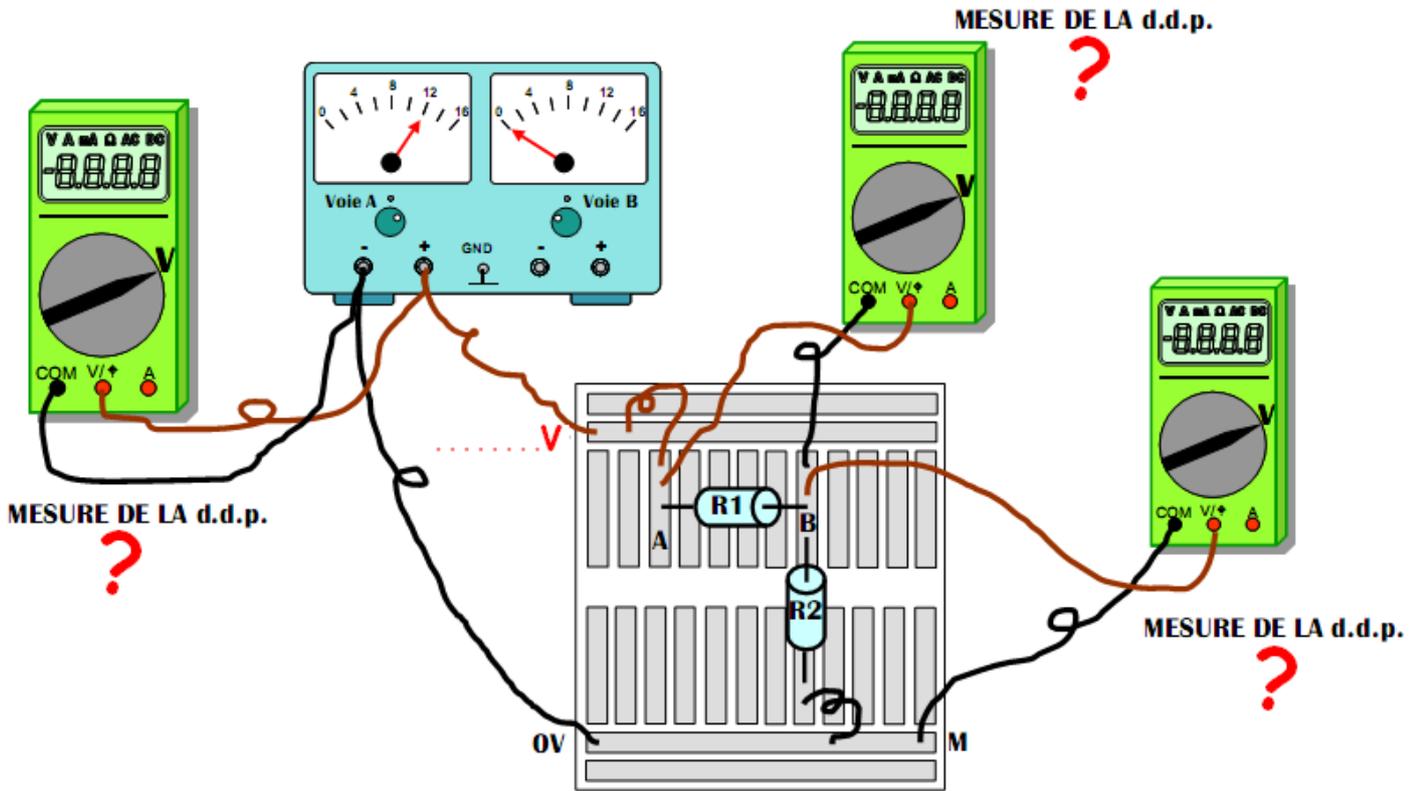


La lampe de poche s'allume.

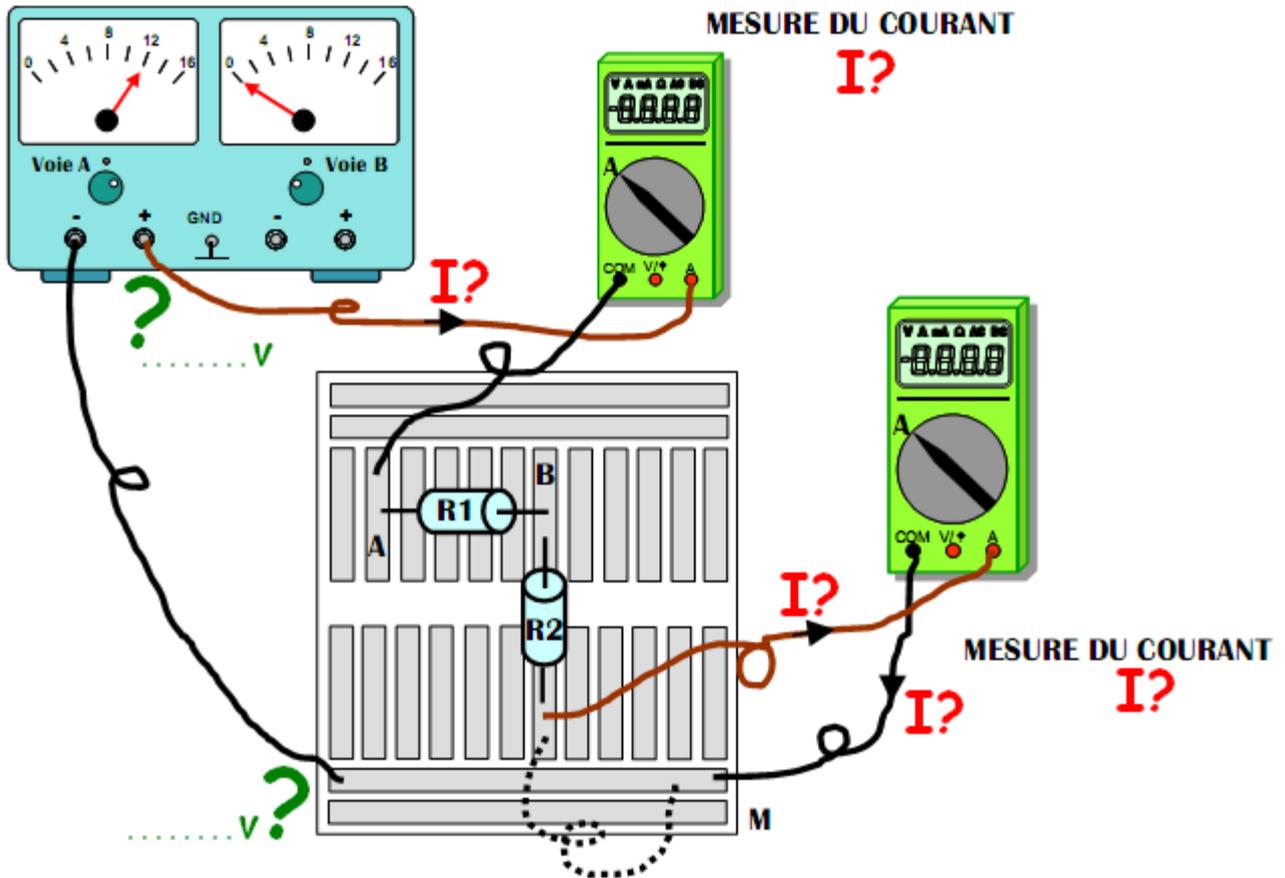


La lampe de poche est éteinte.

SCHÉMAS DE CÂBLAGE POUR LA MESURE DES



SCHÉMAS DE CÂBLAGE POUR LA MESURE DES



MESURE DE TENSION

Pourquoi et comment mesurer une tension ?

Pourquoi ?

- Vérifier que les récepteurs soient correctement alimentés.
- Vérifier la présence ou l'absence de tension.

Comment ?

- ✓ La **tension** se mesure avec un **VOLTMÈTRE** ou un **multimètre en position "V"**.
- ✓ Le voltmètre se branche en **DÉRIVATION** dans un circuit.
- ✓ Il ne doit jamais être branché en série dans le circuit

En fonction de la **nature de la source** d'alimentation (Alternatif ou Continu), il faudra sélectionner sur le voltmètre la **position "AC"** si c'est de l'alternatif et **"DC"** si c'est en continu.

Exemple 1 : Mesure de la tension aux bornes d'une prise de courant dans une cuisine, position de l'appareil **"VAC"**.

Exemple 2 : Mesure de la tension aux bornes d'une batterie de moto, position **"VDC"**.

1) Tension aux bornes de dipôles dans un circuit fermé

Dans un circuit électrique fermé le courant électrique circule et la **tension** est toujours :

- ⊗ différente de zéro aux **bornes** du **générateur**.
- ⊗ différente de zéro aux **bornes** d'une **lampe**, d'un **moteur**, d'une **résistance** ou d'une **diode** dans le sens passant.
- ⊗ nulle aux **bornes** d'un **fil de connexion** ou d'un **interrupteur** fermé.

2) Tension aux bornes de dipôles dans un circuit ouvert

Dans un circuit électrique ouvert le courant électrique ne circule pas et la **tension** est toujours :

- ⊗ différente de zéro aux **bornes** du **générateur**.
- ⊗ nulle aux **bornes** d'une **lampe**, d'un **moteur**, d'une **résistance**, d'une **diode** dans le sens passant, d'un **interrupteur** fermé ou d'un **fil de connexion**.
- ⊗ est égale à la **tension** du **générateur** aux **bornes** d'un **interrupteur** ouvert ou d'une **diode** bloquante.

MESURE ET RÉGLAGE D'UNE TENSION CONTINUE

2. RÉGLAGE D'UNE D. D. P.

2.1. LE POTENTIOMÈTRE

a) Branchement et but

Un potentiomètre est réalisé avec le même appareil qu'un rhéostat mais le branchement et l'utilisation sont différents.

I. Montage en rhéostat : l'appareil :

- ☞ Utilise deux (2) de ses bornes ;
- ☞ Est disposé en série dans le circuit ;
- ☞ Permet de régler le courant dans le circuit.

II. Montage en potentiomètre : le même appareil :

- ☞ Utilise ses trois (3) bornes (fig. 6) pour constituer d'une part une " entrée " (entre les bornes A et B), d'autre part une " sortie " (entre les bornes C et B) ;
- ☞ a son entrée reliée à un générateur tandis que sa sortie alimente un circuit dit d'utilisation ;
- ☞ permet de régler la tension V aux bornes du circuit d'utilisation.

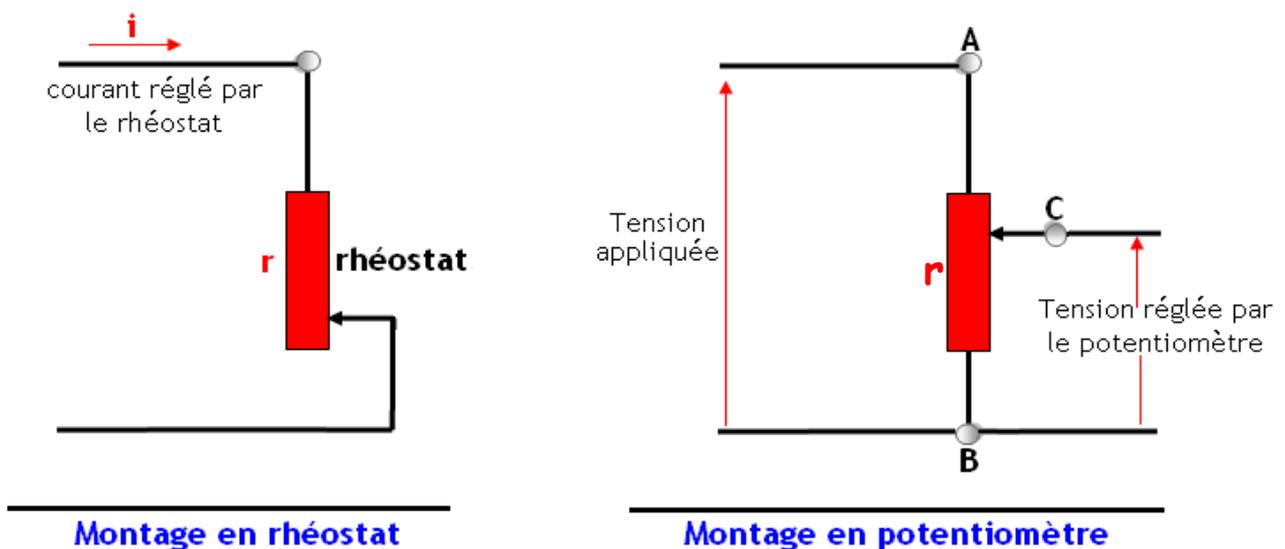


Figure 6 : Montage en rhéostat et montage en potentiomètre.

b) Fonctionnement

1° **Potentiomètre à vide** (fig. 7) : le circuit d'utilisation est débranché ou présente une résistance infinie. Posons : R = résistance totale de l'appareil (entre les bornes A et B)

r = résistance variable de l'appareil (entre les bornes C et B).

On a
$$\left. \begin{aligned} V &= r I \\ U &= E = R I \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{V}{E} = \frac{r}{R} \text{ d'où } V = E \frac{r}{R}$$

Lorsque r croît de 0 à R , V croît de 0 à E . la tension V est proportionnelle à la résistance r : il est donc possible, en agissant sur r , de régler V depuis 0 jusqu'à E .

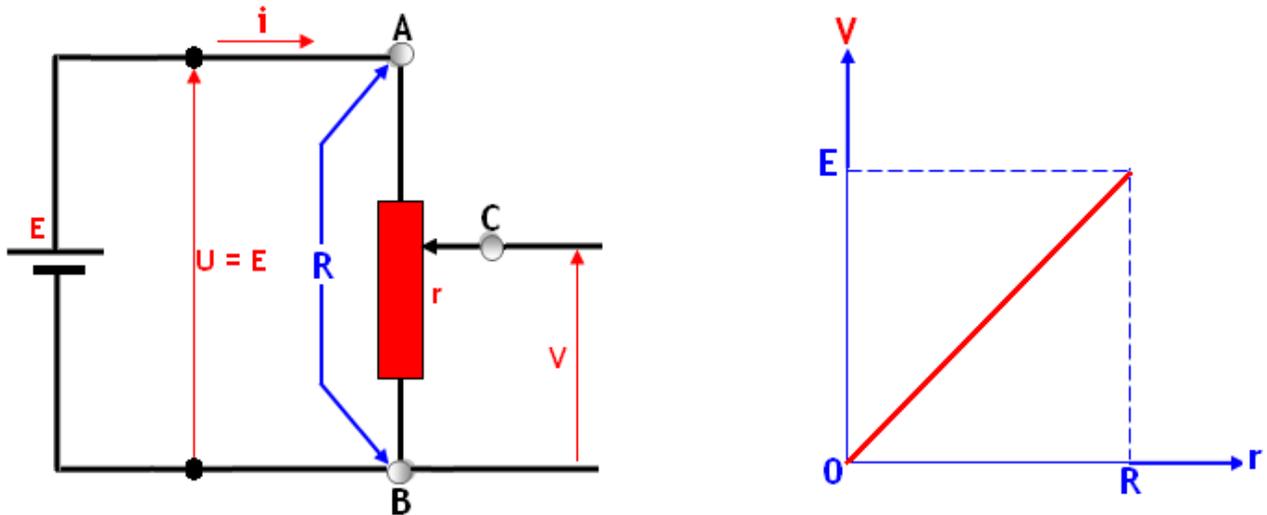


Figure 7 : Potentiomètre à vide.

2° Le potentiomètre alimente une résistance R (fig. 8) : l'ensemble se présente alors comme deux (2) résistances branchées en série :

- ☑ La résistance $R - r$;
- ☑ La résistance $\frac{r \times R_u}{r + R_u}$ équivalente à r et R_u en parallèle.

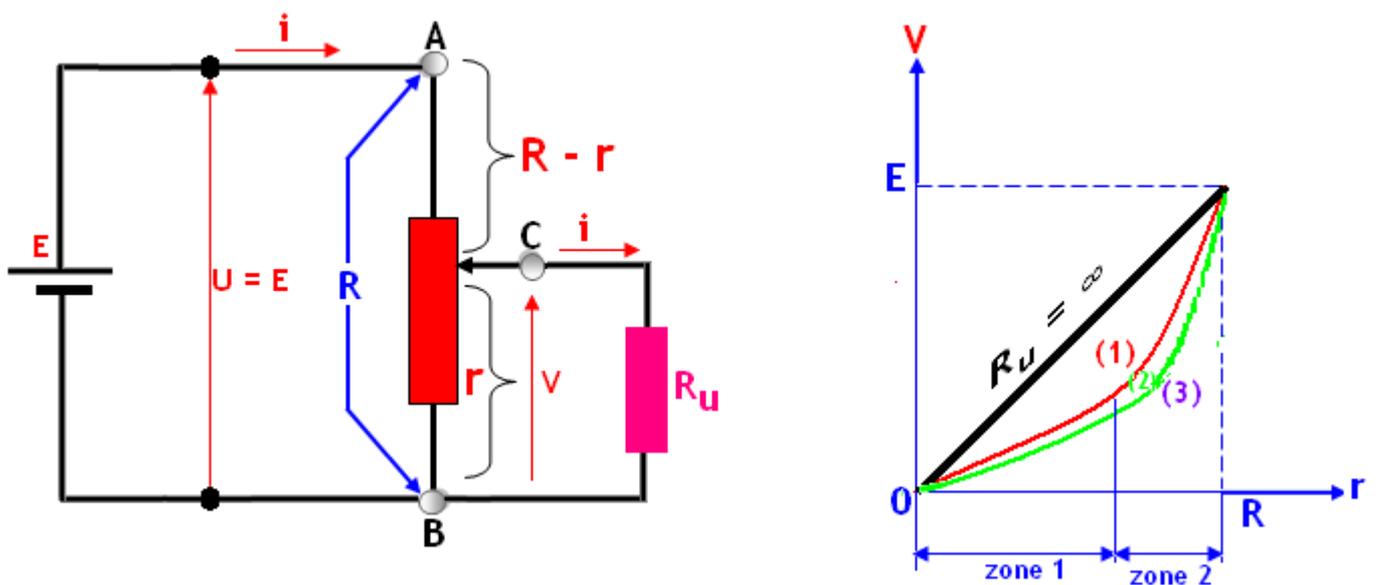


Figure 8 : Potentiomètre à charge.

On en déduit :

$$V = \frac{r R_u}{r + R_u} I$$

$$E = \left[(R - r) + \frac{r R_u}{r + R_u} \right] I$$

$$\frac{V}{E} = \frac{\frac{r R_u}{r + R_u}}{(R - r) + \frac{r R_u}{r + R_u}}$$

$$V = E \frac{r}{R + \frac{r(R-r)}{R_u}}$$

Si la résistance R_u est très grande devant R , le terme $r(R - r) / R_u$ est négligeable devant R et on retrouve le cas précédent : $V = E \frac{r}{R}$.

Dans le cas contraire, pour une même valeur de r , la tension V est plus petite que $E \frac{r}{R}$ (puisque au dénominateur le terme $\frac{r(R-r)}{R_u}$ s'ajoute à R) : la courbe $V = f(r)$ n'est plus une droite mais se creuse de plus en plus au fur et à mesure que R_u diminue.

Dans tous les cas, quel que soit R_u , on peut régler la tension V , entre 0 et E , en agissant sur r .

2.2. AUTRES MOYENS DE RÉGLAGE

a) Batteries d'accumulateurs

La tension aux bornes d'un élément d'accumulateur au plomb étant de 2 V, une batterie de n éléments branchés en série (figure 9) fournit une tension égale à $(n \times 2)$ volts. En faisant varier n on dispose donc d'une tension variable par bonds de 2 V ; c'est un moyen très simple et très utilisé pour régler une d. d. p.

b) Alimentation stabilisée

Ce sont des dispositifs électroniques qui fournissent une tension continue réglable ; elles sont alimentées par le réseau à courant alternatif.

Ces alimentations sont en général munies d'un **dispositif de régulation** qui maintient constante la tension continue quel que soit le courant débité : on les dit alors stabilisées (figure 10).

Une alimentation stabilisée est caractérisée par la gamme de tensions qu'elle peut fournir (par exemple entre 1 et 10 V) et par le courant maximal qu'elle peut débiter (par exemple 0,2

A). Le réglage de la tension s'effectue en manœuvrant un bouton " tension ". L'emploi de ces alimentations est particulièrement simple.

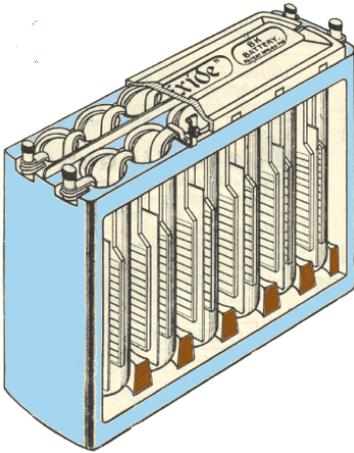


Figure 9 : Batteries d'accumulateurs

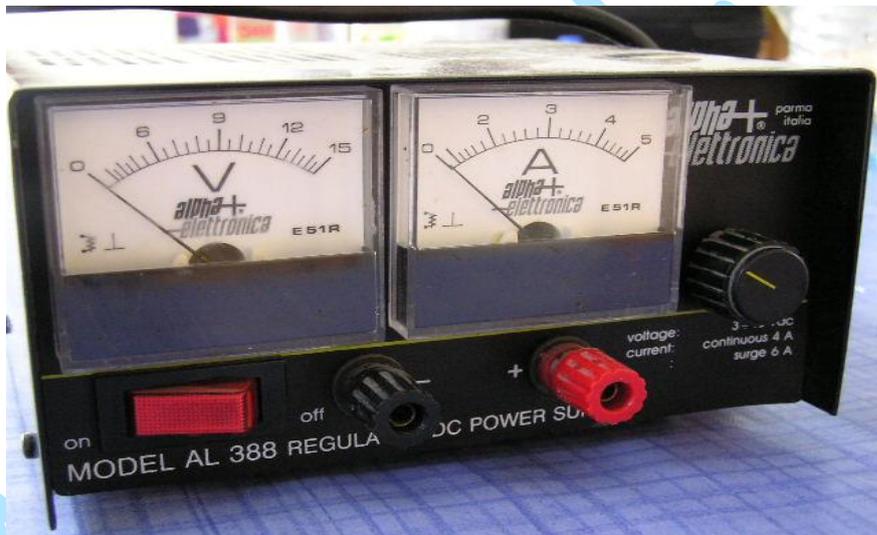


Figure 10 : Alimentation stabilisée.



DIFFÉRENTS TYPES DE POTENTIOMÈTRES

HAMMADI.N.



LE GALVANOMÈTRE : TRANSFORMATION EN AMPÈREMÈTRE OU EN VOLTMÈTRE

- 1.1. DESCRIPTION ET PROPRIÉTÉS
- 1.2. TRANSFORMATION D'UN GALVANOMÈTRE EN VOLTMÈTRE OU EN AMPÈREMÈTRE
- 1.3. RÉALISATION D'UN VOLTMÈTRE DE CALIBRE DONNÉ
- 1.4. RÉALISATION D'UN AMPÈREMÈTRE DE CALIBRE DONNÉ
- 1.5. SENSIBILITÉ D'UN VOLTMÈTRE
- 1.6. PRÉCISION D'UN VOLTMÈTRE

LE GALVANOMÈTRE : TRANSFORMATION EN AMPÈREMÈTRE OU EN VOLTMÈTRE

1.1. DESCRIPTION ET PROPRIÉTÉS

La plupart des voltmètres et des ampèremètres à courant continu contiennent un élément de base appelé " *mouvement d'Arsonval* " (fig. 1). Ce mouvement (cadre mobile) sert à faire dévier l'aiguille de l'instrument.

Ce " *mouvement d'Arsonval* " constitue l'élément de base du **galvanomètre** qui est un appareil magnétoélectrique très sensible pouvant détecter des courants extrêmement faibles (par exemple jusqu'à 10^{-10} A).

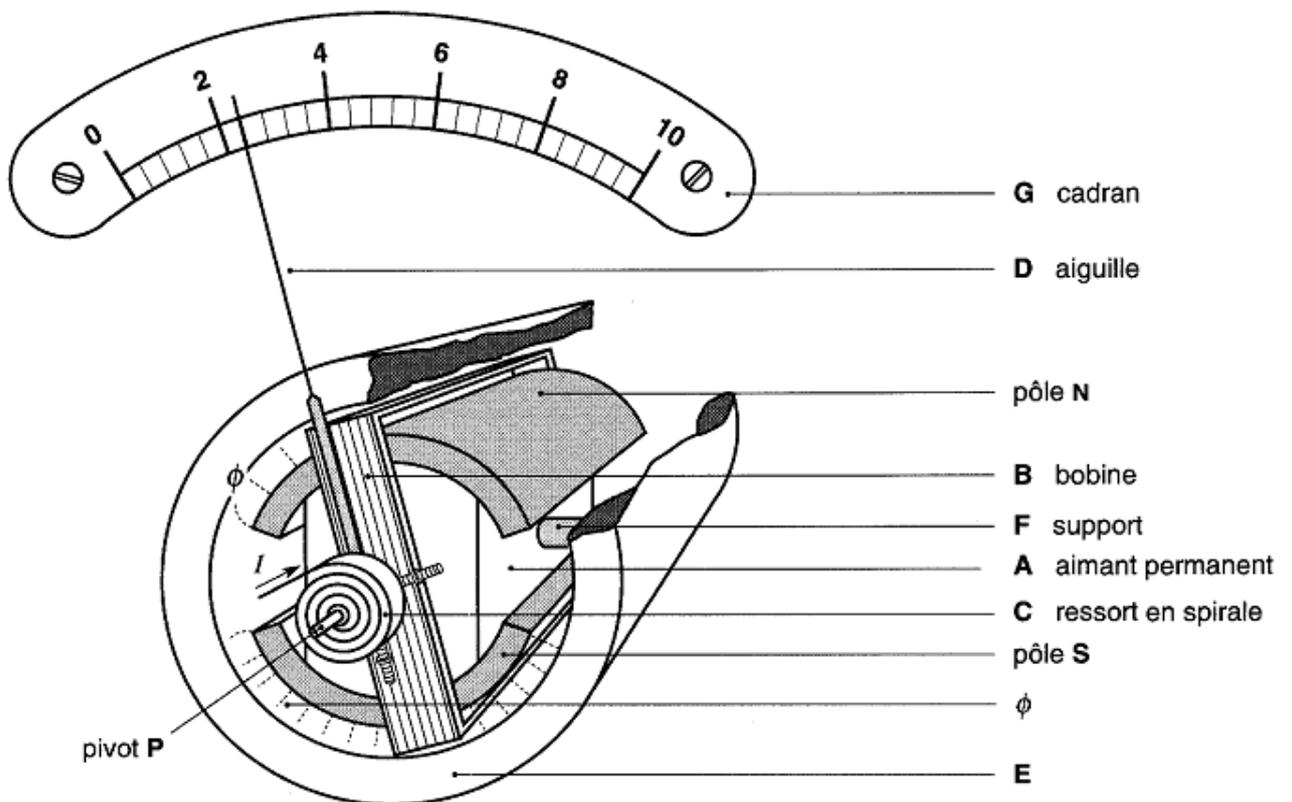


Figure 1 : Composants d'un mouvement d'Arsonval.

1.2. TRANSFORMATION D'UN GALVANOMÈTRE EN VOLTMÈTRE OU EN AMPÈREMÈTRE

Nous avons déjà vu qu'un cadre mobile (organe moteur entraînant une aiguille) disposé :

- ✓ En série avec une résistance élevée (dite **résistance additionnelle**) constitue un **voltmètre**,

- ✓ En parallèle avec une résistance faible (dite **shunt**) constitue un **ampèremètre**.

Or, un **galvanomètre** n'est pas autre chose qu'un cadre mobile : il est donc possible de réaliser avec un tel appareil un voltmètre ou un ampèremètre de calibre imposé à l'avance.

1.3. RÉALISATION D'UN VOLTMÈTRE DE CALIBRE DONNÉ

I. On dispose en série (**fig. 2**) :

- ✓ Un galvanomètre **G**, shunté par une résistance extérieure critique S_c et réglé de façon que le spot soit, au repos, situé à l'extrémité gauche de l'échelle graduée.
- ✓ Une résistance additionnelle **R** (réalisée par exemple avec des boîtes à décades) ;
- ✓ un interrupteur **K**.

L'ensemble, vu des bornes A et B, constitue un **voltmètre**.

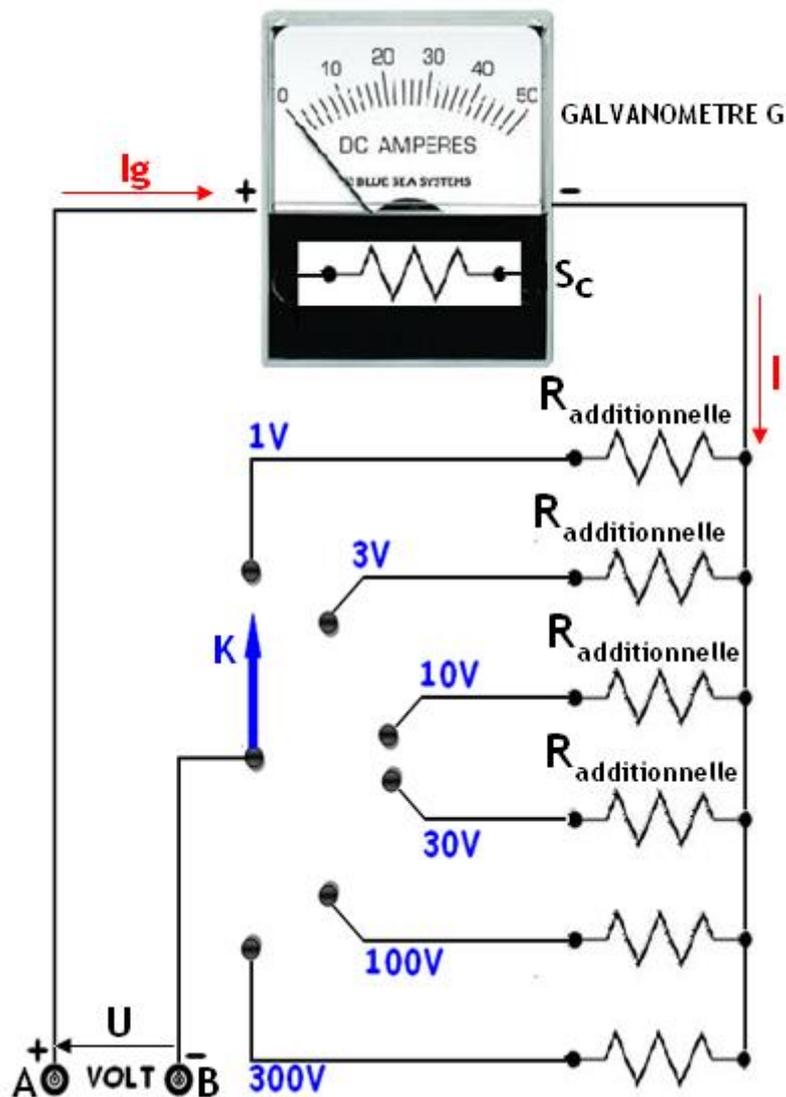


Figure 2 : Montage en voltmètre.

II. On se propose de réaliser pour ce voltmètre, le calibre 3 V, pour cela il suffit :

1°- d'appliquer entre A et B une tension de 3 V (lue avec un voltmètre auxiliaire, de préférence étalon) ;

2°- de régler la valeur de la résistance additionnelle R pour que le déplacement d du spot soit maximal (par exemple d = 150 divisions si l'échelle est graduée de 0 à 150).

Le déplacement d du spot, proportionnel au courant I_g dans le cadre est aussi proportionnel à la tension U appliquée entre A et B : l'ensemble (" G shunté par S_c " + R) constitue bien un voltmètre de sensibilité : $\frac{3}{150} = 0,02 \text{ V/division}$

Si le spot se déplace de " d " divisions, la tension correspondante est :

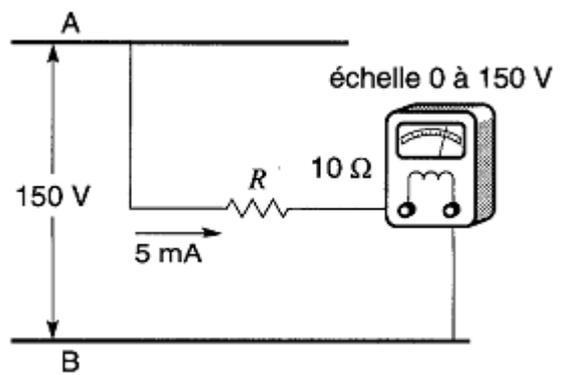
$$U = 0,02 \times d \text{ [V].}$$

EXEMPLE : $d = 5 \Rightarrow U = 0,02 \times 5 = 0,1 \text{ V.}$

EXERCICE D'APPLICATION : Calcul de la résistance d'un voltmètre

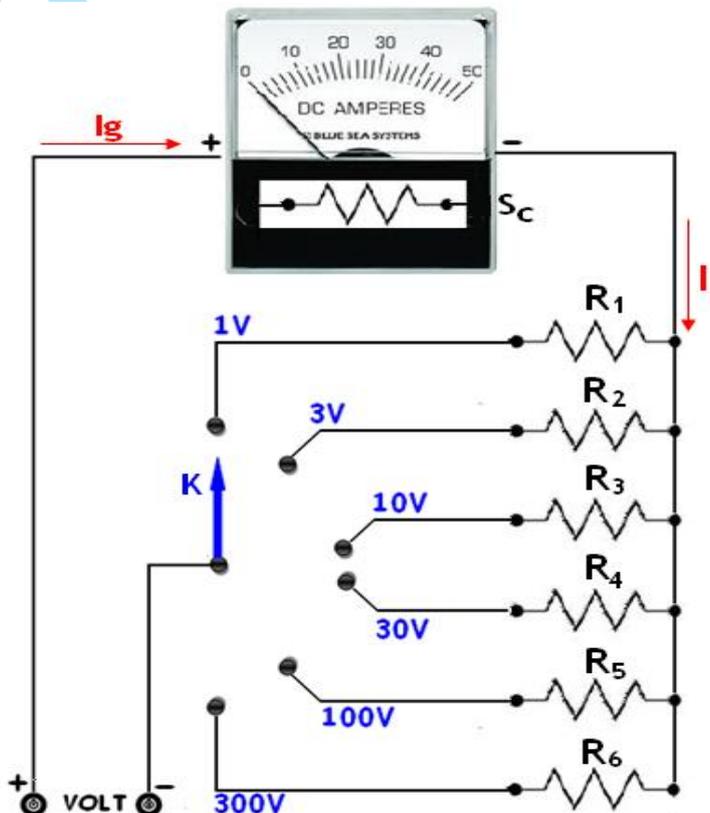
1°- La bobine d'un milliampèremètre a une résistance de 10 Ω et donne une déviation maximale de l'aiguille lorsqu'elle est parcourue par un courant de 5 mA.

Quelle résistance extérieure faut-il brancher en série avec cette bobine pour transformer l'instrument en un voltmètre calibré de 0 à 150 V.



2°- Un multimètre équipé d'un galvanomètre de 20 μA ayant une résistance interne de 1200Ω. Cette résistance est celle du fil de cuivre enroulé sur la bobine mobile.

Si l'instrument dispose de 6 échelles : 1, 3 10, 30, 100, 300 volts, le commutateur K appliquera en série sur l'instrument 6 résistances différentes. Calculer la valeur des 6 résistances.



1.4. RÉALISATION D'UN AMPÈREMÈTRE DE CALIBRE DONNÉ

- I. On Reprend le voltmètre précédemment réalisé et on dispose entre A et B une résistance S (par exemple de **quelques ohms**, alors que R est de l'ordre du mégohm) : le courant total I_T (fig. 3) se partage entre :

- La résistance S ;
- le reste du montage (courant I).

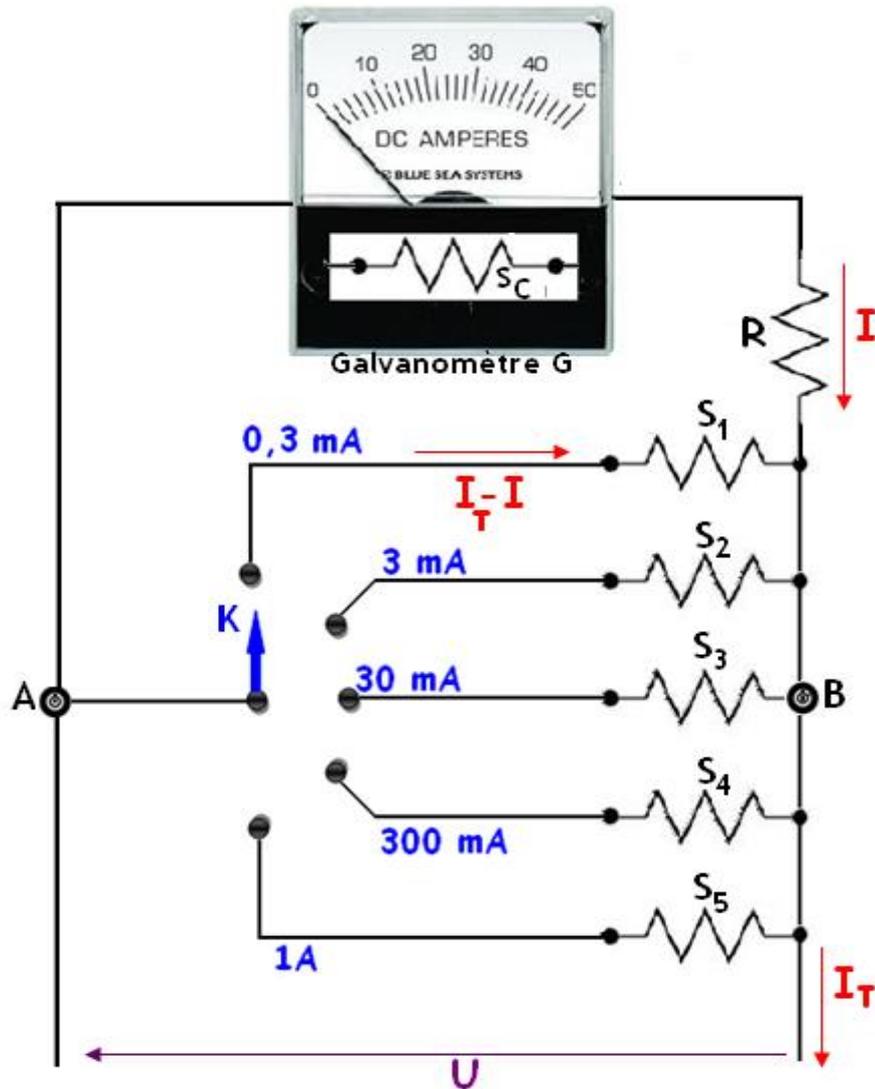


Figure 3 : Montage en ampèremètre.

En fait comme $R \gg S$, le courant ($I_T - I$) qui parcourt S est très peu différent du courant total I_T et l'on a pratiquement : $U = S \times I_T$

La déviation du cadre, proportionnelle à U , est donc proportionnelle à I_T : l'appareil est devenu un **ampèremètre**.

- II. On se propose de réaliser le calibre 0,75 A ; il suffit que la tension U soit de 3 V lorsque le courant I_T est de 0,75 A :

$$3 = S \times 0,75 \Rightarrow S = \frac{3}{0,75} = 4 \Omega.$$

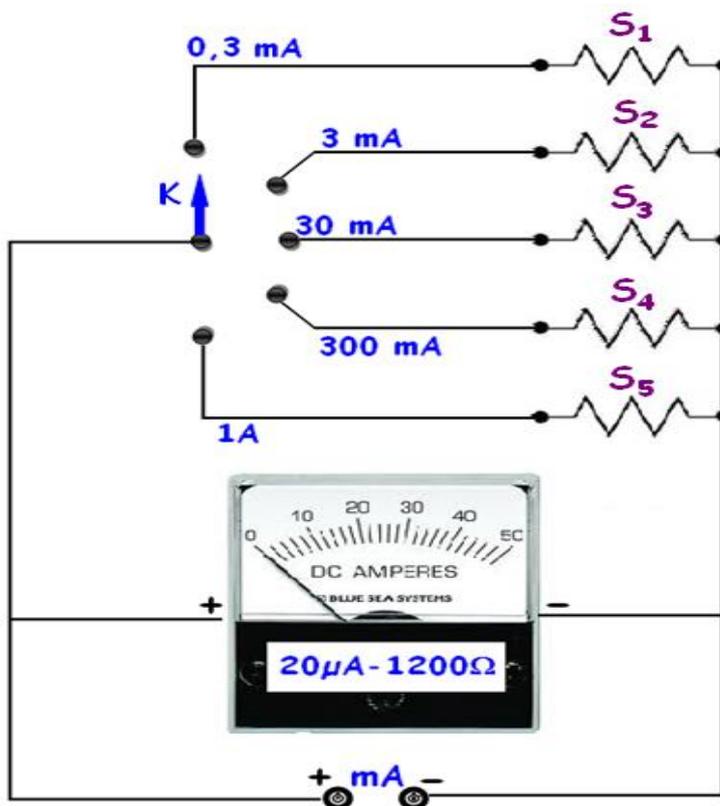
EXERCICE D'APPLICATION : Calcul d'un shunt

①. L'aiguille d'un milliampèremètre se rend au bout de son échelle quand un courant de 10 mA circule dans la bobine. Sachant que la résistance de cette bobine est de 15Ω, quelle doit être la résistance du shunt qui permettra de transformer l'instrument en un ampèremètre calibré de 0 à 50 A ?

SOLUTION : - Voir solution -

②. En ayant un galvanomètre de 20 μA et une résistance interne de 1200Ω, si l'on désire lire les valeurs de courants suivantes à fond d'échelle : 0,3 - 3 - 30 - 300 - 1000 mA, On devra relier en parallèle à l'instrument de mesure 5 résistances différentes, dont on demande de calculer la valeur de chacune d'elle.

SOLUTION : - Voir solution -



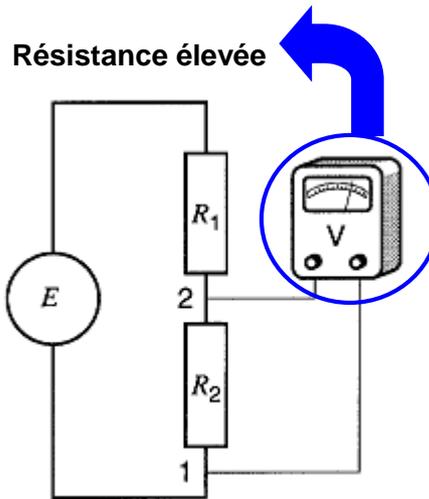
Résistance interne d'un ampèremètre =

$$\frac{\text{résistance interne de l'instrument} \times \text{résistance du shunt}}{\text{résistance interne de l'instrument} + \text{résistance du shunt}}$$

La résistance interne du voltmètre =
la résistance interne de l'instrument (galvanomètre ou milliampèremètre)
+ la résistance additionnelle en série.

1.5. SENSIBILITÉ D'UN VOLTMÈTRE

Un voltmètre se comporte comme une résistance élevée lorsqu'il est raccordé à deux points d'un circuit pour la mesure de la tension entre ces points.



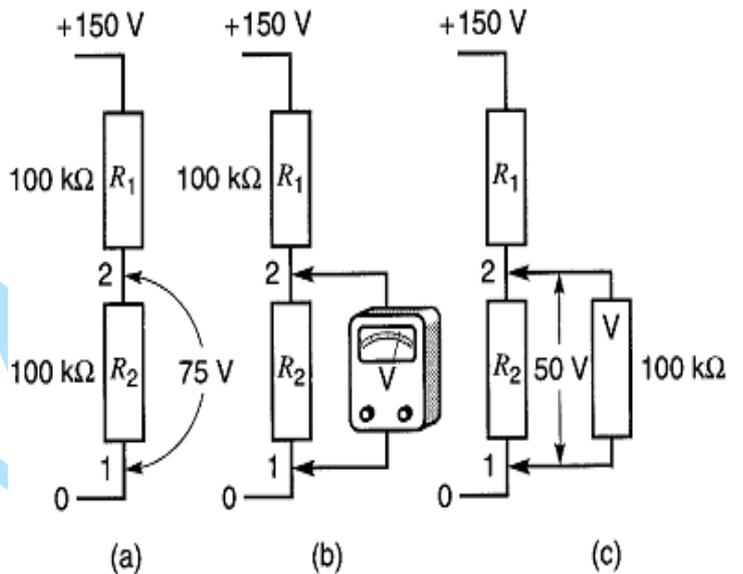
Pour illustrer la sensibilité d'un voltmètre : Circuit composé de 2 résistances de 100 kΩ groupées en série et alimentées par une source de 150 V (figure (a)).

Même résistances → 75 V aux bornes de chacune.

Voltmètre aux bornes de R₂

Gradué de 0 - 100 V

Résistance totale de 100 kΩ

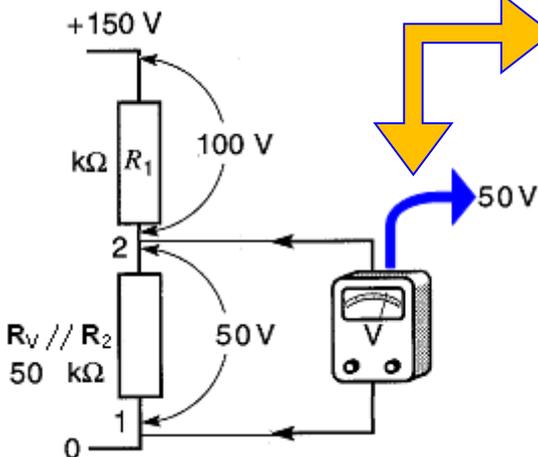


La présence du voltmètre a modifié la résistance totale du circuit (figure (b)).

Puisque $R_V = R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ et $R_V // R_2 \rightarrow R_{1-2} = 50 \text{ k}\Omega$.

La résistance R₂ aux bornes de 1 et 2 $\neq 100 \text{ k}\Omega \rightarrow R_2 = 50 \text{ k}\Omega$.

La tension aux bornes de R₂ tombe à 50 V (figure ©) D'où vient ce 50 V ?



Un petit calcul donne :

$$150 \text{ V} = U_1 + U_{1-2} = 2 \times U_{1-2} + U_{1-2} = 3 \times U_{1-2}$$

$$U_{1-2} = 50 \text{ V.}$$

→ 50 V : valeur indiquée par le voltmètre.

➡ Une personne non avertie pourrait conclure que la tension aux bornes de $R_2 = 50 \text{ V}$ même quand le voltmètre n'y ait pas branché.

➡ Pour avoir une tension = 75 V aux bornes de R_2 , c. à. d pour que la résistance aux bornes de 1 et 2 soit égale à $100 \text{ k}\Omega$

➡ Brancher un voltmètre de même graduation mais avec une valeur plus élevée

➡ $R_V = 10 \text{ M}\Omega$, par exemple.

➡ Le 2^{ème} voltmètre ($10 \text{ M}\Omega$) est plus sensible que le 1^{er} voltmètre ($100 \text{ k}\Omega$);

➡ Car sa résistance est plus élevée.

La sensibilité d'un voltmètre dépend du courant requis pour produire une déviation complète. Elle est exprimée en *ohms/volt* (Ω/V) et on la trouve par le rapport :

$$\text{Sensibilité} = \frac{\text{résistance de l'instrument en } \Omega}{\text{graduation maximale du cadran en V}}$$

$$\text{Sensibilité} = \frac{1}{\text{intensité du courant donnant une déviation complète de l'aiguille}}$$

Ainsi, la sensibilité d'un voltmètre ayant une calibration de 0 à 100 V et une résistance de $100\,000 \Omega$ est :

$$\text{sensibilité} = 100\,000 \Omega \div 100 \text{ V} = 1000 \Omega/V.$$

Lorsqu'on effectue une mesure de tension dans un circuit comportant des résistances élevées, on doit s'assurer que la sensibilité de l'appareil est suffisante pour ne pas perturber le circuit et fausser les mesures.

1.6. PRÉCISION D'UN VOLTMÈTRE

La précision d'un appareil de mesure est l'exactitude avec laquelle l'instrument indique cette mesure. On l'exprime en % de la graduation maximale de l'échelle.

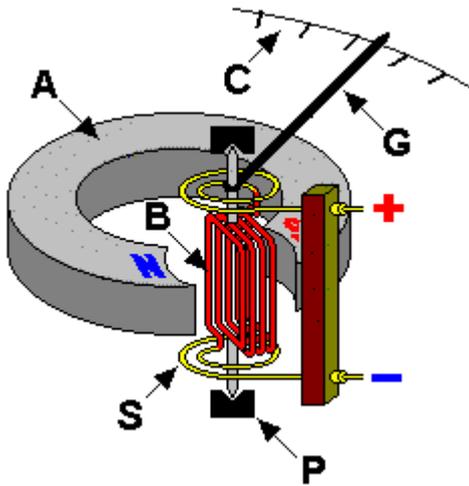
Ne pas confondre entre **SENSIBILITÉ** d'un instrument et sa **PRÉCISION** :

➡ La sensibilité d'un voltmètre dépend de l'intensité du courant qui produit la déviation complète de l'aiguille,

➡ La précision d'un voltmètre dépend du soin apporté à sa fabrication.

EXERCICE D'APPLICATION

I. Compléter la légende :



- A :
-
- B :
-
- C :
-
- G :
-
- P :
-
- S :
-

II. On considère un galvanomètre à cadre mobile dont la résistance interne est $R_g = 10\Omega$. L'angle de déviation θ de l'aiguille du galvanomètre est proportionnelle au courant i qui le traverse : $\theta = k.i$ où k est une constante. L'angle maximum de déviation θ_{max} de l'aiguille est subdivisé en $N = 100$ graduations équidistantes sur le cadran.

1. Déterminer le courant maximum i_{max} que peut mesurer le galvanomètre si la chute de tension aux bornes du galvanomètre est $u_{max} = 1 V$.
2. Déterminer la variation Δi de l'intensité si l'aiguille dévie d'une graduation sur le cadran.
3. Pour disposer d'un ampèremètre de calibre 1A on monte en parallèle aux bornes du galvanomètre une résistance R_s . Déterminer la valeur de la résistance R_s et faire un schéma du montage.
4. Pour disposer d'un voltmètre de calibre 10V on monte en série aux bornes du galvanomètre une résistance R_v .
 - a. Déterminer la valeur de la résistance R_v et faire un schéma du montage.
 - b. On suppose que la classe du voltmètre ainsi construit est $C = 1,5$; c'est-à-dire que l'incertitude relative de construction est de 1,5% sur toute la plage de mesure.

Déterminer l'incertitude ΔU de mesure d'une tension $U = 3V$ avec ce voltmètre.



ERREURS EXPÉRIMENTALES INCERTITUDE SUR UNE MESURE

1. LES ERREURS DE MESURE

- 1.1. UNE MESURE EST TOUJOURS IMPARFAITE
- 1.2. ERREUR ABSOLUE, ERREUR RELATIVE
 - 1.2.1. ERREUR ABSOLUE
 - 1.2.2. ERREUR RELATIVE
 - 1.2.3. CAUSES D'ERREUR
- 1.3. ERREUR DUES À L'INSTRUMENT DE MESURE
- 1.4. ERREUR DUES À L'OPÉRATEUR
- 1.5. ERREUR DUES À LA MÉTHODE
- 1.6. ÉLIMINATION DES ERREURS DANS UNE MESURE

2. INCERTITUDE SUR UNE MESURE

- 2.1. INCERTITUDE ABSOLUE, INCERTITUDE RELATIVE
- 2.2. INTERVALLE DE CONFIANCE
- 2.3. INCERTITUDE SUR UNE MESURE EFFECTUÉE AVEC UN APPAREIL À DÉVIATION
- 2.4. INCERTITUDE SUR UNE MESURE EFFECTUÉE AVEC UN APPAREIL NUMÉRIQUE
- 2.5. PRÉSENTATION D'UN RÉSULTAT DE MESURE

3. CALCUL DES INCERTITUDES

- 3.1. SOMME ET DIFFÉRENCE
- 3.2. PRODUIT, PUISSANCE ET RACINE
- 3.3. QUOTIENT
- 3.4. PRÉCISION DES ÉLÉMENTS DE CIRCUIT
- 3.5. NOMBRE DE CHIFFRES SIGNIFICATIFS D'UN RÉSULTAT

ERREURS EXPÉRIMENTALES

INCERTITUDE SUR UNE MESURE

1. LES ERREURS DE MESURE

1.1. UNE MESURE EST TOUJOURS IMPARFAITE

Dans nos manipulations expérimentales, nous pouvons faire certaines constatations :

- ✓ La mesure d'une grandeur, par exemple une **d. d. p.**, dépend de l'appareil utilisé ;
- ✓ La lecture d'un instrument exige certaines précautions, pour éviter " l'erreur de parallaxe " par exemple ;
- ✓ Le branchement d'un appareil de mesure (ampèremètre ou voltmètre) modifie la grandeur que l'on désire mesurer.

Ces quelques considérations suffisent à montrer que toute mesure de grandeur (longueur, masse, courant, tension, etc.), résultat d'une **opération instrumentale**, est nécessairement imparfaite : elle comporte une certaine erreur, c'est-à-dire qu'il existe une différence entre

La valeur vraie X_v de la grandeur

Et la valeur obtenue X au cours de la mesure.

1.2. ERREUR ABSOLUE, ERREUR RELATIVE

1.2.1. ERREUR ABSOLUE

C'est par définition l'écart :

$$\delta X = X - X_v$$

L'erreur absolue s'exprime avec la même unité que la grandeur mesurée ; elle peut être positive ou négative selon que la mesure est :

- ❖ Par excès $X > X_v$, $\delta X > 0$,
- ❖ Par défaut $X < X_v$, $\delta X < 0$.

1.2.2. ERREUR RELATIVE

C'est par définition le rapport :

$$\frac{\text{erreur absolue}}{\text{valeur de la grandeur}} = \frac{\delta X}{X_v} = \frac{X - X_v}{X_v}$$

C'est un nombre (pas d'unité) que l'on exprime souvent en **pourcentage** :

$$\frac{\delta X}{X_v} \% = 100 \frac{X - X_v}{X_v}$$

L'erreur relative donne une idée de la difficulté d'une mesure.

UNE MESURE EST D'AUTANT PLUS DÉLICATE QU'ELLE DOIT DONNER UNE ERREUR RELATIVE PLUS FAIBLE.

1.2.3. CAUSES D'ERREUR

L'erreur correspondante à une mesure n'est évidemment jamais connue. Mais il est important de rechercher les causes d'erreur pour :

- 1) Essayer de les réduire ;
- 2) Estimer la confiance que l'on peut avoir dans le résultat d'une mesure.

Nous allons donc analyser les trois (3) grandes causes d'erreur :

- A. L'appareil de mesure utilisé ;
- B. L'opérateur ;
- C. La méthode adoptée.

1.3. ERREUR DUES À L'INSTRUMENT DE MESURE

- a) Un appareil de mesure quelconque n'est jamais parfait : il présente suivant sa qualité et par suite son prix, des défauts plus ou moins importants mais inévitables.

EXEMPLE : Pour un ampèremètre à déviation :

- Frottements dans les pivots, jeux, défauts d'équilibrage ;
- Influence des mesures antérieures ;
- Influence de grandeurs extérieures (température, champ magnétique)
- Irrégularité de la graduation.

Il en résulte que l'indication donnée par l'instrument est plus ou moins éloignée de la valeur vraie de la grandeur mesurée : il y a une **erreur instrumentale**.

- b) On dit qu'un appareil est d'autant plus juste que cette erreur est plus faible : ainsi la justesse est une qualité essentielle d'un instrument de mesure.

Mais ce n'est pas la seule : il y a aussi la **fidélité**. Un appareil est d'autant plus fidèle qu'il fournit des indications plus voisines lorsqu'on effectue plusieurs mesures de la même grandeur.

- c) L'**erreur instrumentale** est en fait la somme de deux (2) erreurs :

1° - une erreur qui se produit **systématiquement** quand on utilise l'appareil et qui est du par exemple à un mauvais réglage du zéro ou à un étalonnage imparfait ; on parle alors d'**erreur systématique** ;

2° - une erreur qui se produit de façon imprévisible et qui est due, entre autres, aux frottements dans les pivots. Dans ce cas, on parle d'**erreur fortuite** ou **accidentelle**.

1.4. ERREUR DUES À L'OPÉRATEUR

L'opérateur n'est pas plus parfait que l'instrument qu'il utilise ; il peut, par exemple :

- ☞ Serrer insuffisamment certaines bornes assurant des connexions,
 - ☞ Choisir un appareil ou un calibre peu favorable à la mesure ...
- a) La lecture se fait en repérant la position d'une aiguille devant une graduation. L'aiguille s'immobilise en général entre deux (2) traits de la graduation, ce qui oblige l'opérateur à **estimer** une fraction de division. Sans dispositif particulier, il est assez difficile d'estimer mieux que le quart ($\frac{1}{4}$) de division.
- L'opérateur peut mal placer son œil par rapport à l'aiguille : d'où une erreur supplémentaire dite de **parallaxe**.
- b) Il peut également se produire une **erreur de lecture systématique** : il suffit que l'opérateur occupe une mauvaise position pour faire **toutes** les lectures.

**THÉORIQUEMENT, UN APPAREIL NUMÉRIQUE N'ENTRAÎNE AUCUNE
ERREUR DE LECTURE.**

1.5. ERREURS DUES À LA MÉTHODE

- a) L'introduction d'un appareil de mesure dans un circuit électrique perturbe nécessairement le fonctionnement. Par exemple, le branchement :
- 1° - d'un ampèremètre, en série dans le circuit, modifie l'intensité du courant ;
 - 2° - d'un voltmètre, en parallèle avec un élément, modifie la **d. d. p.** aux bornes de cet élément.
- Il y a ainsi une erreur puisque le branchement même de l'appareil perturbe la grandeur que l'on désire connaître.
- b) De nombreuses méthodes de mesures entraînent ainsi une erreur qui se produit nécessairement quelle que soient l'habileté de l'opérateur et les qualités de l'instrument : il s'agit d'une **erreur systématique**.

**D'UNE MANIÈRE GÉNÉRALE, LORSQUE LA MÉTHODE DE MESURE ENTRAÎNE
UNE ERREUR, CELLE-CI EST TOUJOURS DE TYPE SYSTÉMATIQUE.**

1.6. ÉLIMINATION DES ERREURS DANS UNE MESURE

- I. **Il est en général possible d'éviter les erreurs systématiques.**

Par exemple :

- 1° - les **erreurs instrumentales systématiques** peuvent être éliminées par un réglage du zéro et une courbe d'étalonnage ;

2° - les erreurs de lecture systématiques disparaissent si l'opérateur est dans une position correcte en face de l'appareil ;

3° - les erreurs de méthode sont inévitables dans certains cas, mais alors il est possible de les calculer et par suite de les éliminer.

II. les erreurs accidentelles sont fortement réduites si l'on réalise une série de mesures

1° - **EXEMPLE** : dix (10) mesures d'une résistance étalon de 10Ω ont donné (en Ω) :

10,1 9,8 10 9,9 10 10,3 10,1 10 10,2 9,9

Les erreurs absolues correspondantes sont (en Ω) :

+0,1 -0,2 0 -0,1 0 +0,3 +0,1 0 +0,2 -0,1

Les erreurs les plus faibles ($\pm 0,1$) apparaissent plus souvent que les plus grandes ($\pm 0,3$) : on dit qu'elles sont plus probables.

Dans une série de mesures les erreurs accidentelles peuvent prendre de manière aléatoire (au hasard) toutes les valeurs possibles mais ces valeurs sont d'autant moins probables que leur valeur absolue est plus élevée.

LORSQU'UNE ERREUR SYSTÉMATIQUE SUBSISTE, LES MESURES DONNENT DES RÉSULTATS DISPERSÉS AU HASARD AUTOUR D'UNE VALEUR DIFFÉRENTE DE LA VALEUR VRAIE.

2° - Comme les erreurs accidentelles sont tantôt par excès, tantôt par défaut on ne conçoit que la moyenne arithmétique des valeurs expérimentales :

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_m}{m}$$

soit très proche de la valeur vraie X_v ; on adopte donc pour valeur X de la grandeur étudiée :

$$X = \bar{X}$$

Dans l'exemple des 10 mesures de la résistance étalon on a :

$$X = \frac{10,1 + 9,8 + 10 + 9,9 + 10 + 10,3 + 10,1 + 10 + 10,2 + 9,9}{10} = \frac{100,3}{10} = 10,03 \Omega$$

Si le nombre " m " de mesures effectuées augmente, il est évident que la compensation des erreurs par excès et des erreurs par défaut se fait de mieux en mieux :

L'erreur absolue $\delta X = \bar{X} - X_v$ diminue progressivement.

BILAN



ERREURS EXPÉRIMENTALES

INCERTITUDE SUR UNE MESURE

2. INCERTITUDE SUR UNE MESURE

BONNE MESURE

1. Faire disparaître les erreurs systématiques ;

2. Recommencer la mesure un certain nombre de fois " m " et prendre la moyenne arithmétique des résultats pour éliminer partiellement les erreurs accidentelles.

Quelle **confiance** on peut accorder au résultat **X** ainsi obtenu ?

Deux (2) cas sont à considérer :

- 1) " m " est petit (entre 1 et 3 par exemple) ;
- 2) " m " est grand (de 5 à 20 ou au-delà).

2.1. INCERTITUDE ABSOLUE, INCERTITUDE RELATIVE

a) Le 1^{er} cas évoqué ci-dessus correspond en général aux mesures électriques : " m " est trop faible pour appliquer une méthode statique ; par contre les constructeurs donnent des renseignements intéressants quant aux performances des appareils et des composants.

On évalue pour $|\delta X|$ une limite supérieure ΔX ; on a donc : $|\delta X| \leq \Delta X$

ΔX , appelé **incertitude absolue**, est un nombre positif (+) qui s'exprime avec la même unité de la grandeur mesurée.

b) L'erreur relative présente aussi une limite supérieure :

$$\frac{|\delta X|}{X_v} \leq \frac{\Delta X}{X_v} \approx \frac{\Delta X}{X} \quad \text{puisque } X_v \approx X$$

Le rapport $\frac{\Delta X}{X}$ est appelé **incertitude relative** : c'est un nombre positif (+) sans dimension (pas d'unité) qui s'exprime souvent en pourcentage (%).

2.2. INTERVALLE DE CONFIANCE

a) Par définition de l'erreur absolue, on a : $X_v = X - \delta X$

Graduons un axe \vec{Ox} avec l'unité de la grandeur X (par exemple des ampères) : l'abscisse X_v s'obtient, à partir de l'abscisse X , comme l'indique la **figure 1**.

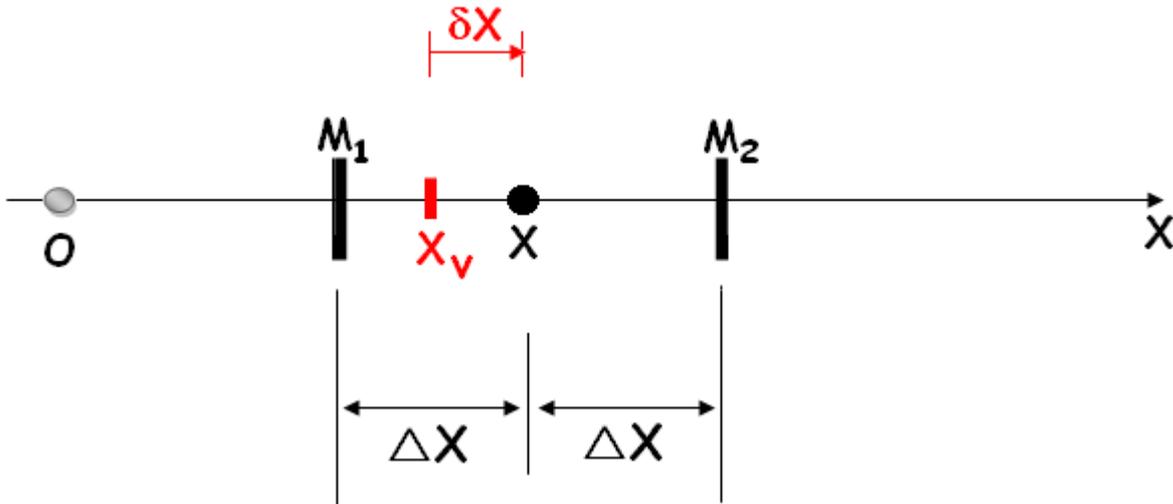


Figure 1 : Intervalle de confiance.

En fait δX n'est pas connu :

- ✓ Son signe peut être + ou - ;
- ✓ Sa valeur absolue est inférieure ou égale à ΔX . Donc le point d'abscisse X_v inconnue se trouve nécessairement entre les points M_1 et M_2 d'abscisses connues :

$$\begin{array}{l} | X - \Delta X \text{ pour } M_1, \\ | X + \Delta X \text{ pour } M_2. \end{array}$$

Autrement dit :

$$X - \Delta X \leq X_v \leq X + \Delta X$$

L'intervalle $(X - \Delta X, X + \Delta X)$ dans lequel se trouve X_v est appelé **intervalle de confiance**.

- b)** La valeur mesurée X étant déterminée, il faut chercher à **estimer la valeur ΔX de l'incertitude absolue**.

1°- lorsque la mesure est **directe** (mesure d'un courant à l'aide d'un ampèremètre, d'une résistance à l'aide d'un ohmmètre), il convient d'évaluer la limite supérieure des erreurs à partir des indications fournies par le constructeur de l'appareil utilisé.

2°- pour une mesure est **indirecte** (mesure d'une résistance à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre par application de la loi d'Ohm $R = U/I$), il faut déterminer l'incertitude sur la grandeur calculée (la résistance) à partir des incertitudes sur chacune des grandeurs qui entrent dans le calcul (ici la tension et le courant).

2.3. INCERTITUDE SUR UNE MESURE EFFECTUÉE AVEC UN APPAREIL À DÉVIATION

a) On caractérise un instrument de mesure par sa **classe de précision** :

$$\text{Classe en \%} = 100 \frac{\Delta X}{\text{calibre}}$$

ΔX étant la limite supérieure des erreurs instrumentales et des erreurs de lecture.

Ainsi connaissant la classe d'un appareil, il est possible de calculer l'incertitude ΔX sur une mesure effectuée avec cet appareil :

$$\Delta X = \frac{\text{classe}}{100} \times \text{calibre}$$

EXEMPLE : Voltmètre de classe 0,5

1) Sur le calibre 150 V, on a : $\Delta X = \frac{0,5}{100} \times 150 = 0,75 \text{ V}$

2) Sur le calibre 30 V, on a : $\Delta X = \frac{0,5}{100} \times 30 = 0,15 \text{ V}$

L'INCERTITUDE VARIE DANS LE MÊME RAPPORT QUE LES CALIBRES.

Quand à l'incertitude relative elle peut se mettre sous la forme :

$$\frac{\Delta X}{X_v} \approx \frac{\Delta X}{X} = \frac{\text{classe}}{100} \times \frac{\text{calibre}}{X}$$

Or le rapport $\frac{\text{calibre}}{X}$ est égal au quotient du nombre total " N " de divisions de la graduation par le numéro " n " de la division devant laquelle s'immobilise l'aiguille pendant la mesure, d'où :

$$\frac{\Delta X}{X} = \frac{\text{classe}}{100} \times \frac{N}{n}$$

EXEMPLE : Le voltmètre précédent comporte N = 150 divisions ; sur le calibre 30 V, l'aiguille se fixe devant 120. L'incertitude relative peut se calculer de deux (2) façons différentes :

✓ $U = 120 \frac{30}{150} = 24 \text{ V} \Rightarrow \frac{\Delta U}{U} = \frac{0,15}{24} \approx 0,006$ soit 0,6 % ; ou bien

✓ $\frac{\Delta U}{U} = \frac{0,5}{100} \times \frac{150}{120} \approx 0,006$.

Toujours avec le même voltmètre et pour U = 24 V, on adopte le calibre 150 V. ce calibre est 5 fois plus grand que le précédent (c. à. d. 30 V), la déviation est 5 fois plus (n = au lieu de n = 120) ; l'incertitude relative est plus

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{0,5}{100} \times \frac{150}{\dots} \approx \dots \dots \dots \text{ soit } \dots \dots \dots \%$$

(au lieu de 0,6 %).

EXERCICE D'APPLICATION : l'effet de la précision sur l'erreur maximale d'une lecture d'instrument

Un voltmètre calibré 0 - 150 V possède une précision de $\pm 2 \%$. S'il indique 60 V lorsqu'il est raccordé à un circuit, à quelle erreur maximale doit-on s'attendre ? Que peut-on conclure ?

SOLUTION :

.....

b) L'incertitude calculée à partir de la classe suppose que l'utilisateur est expérimenté et en particulier que la lecture n'entraîne qu'une erreur très faible. Bien entendu, il n'en est pas de même pour un débutant. On considère que ΔX est la somme de deux (2) termes :

I. Une incertitude $\Delta X_{instrument}$, notée ΔX_i et calculée à partir de la classe. Cette incertitude est imputée injustement à l'instrument seul.

$\Delta X_{instrument}$: Incertitude absolue instrumentale.

II. Une incertitude de lecture $\Delta X_{lecture}$, notée ΔX_l calculée de la façon suivante : si l'on admet que le quart de division est estimable, on a :

$$\Delta X_l = \frac{1}{4} \text{ division}$$

Soit, en utilisant la même unité que la grandeur à mesurer :

$$\Delta X_l = \frac{1 \text{ calibre}}{4 N}$$

$\Delta X_{lecture}$: Incertitude absolue de lecture.

Quand à l'incertitude relative, elle peut s'écrire :

$$\frac{\Delta X_l}{X} = \frac{1}{4} \frac{\text{calibre}}{N \times X} \text{ or } \frac{\text{calibre}}{X} = \frac{N}{n}$$

Donc

$$\frac{\Delta X_l}{X} = \frac{1}{4 n}$$

L'INCERTITUDE RELATIVE $\frac{\Delta X_l}{X}$ EST INVERSEMENT PROPORTIONNELLE À " n " SI BIEN QUE, LÀ ENCORE, ON A INTÉRÊT À CHOISIR LE CALIBRE CORRESPONDANT À LA PLUS GRANDE DÉVIATION POSSIBLE.

EXEMPLE : Le voltmètre précédent soumis à 24 V.

1° - sur le calibre 30 V :

$$\left. \begin{array}{l} \checkmark \text{ 1 division correspond à } \frac{30}{150} = \frac{1}{5} \text{ de volt} \\ \checkmark \text{ } \frac{1}{4} \text{ division correspond à } \frac{1}{5 \times 4} = \frac{1}{20} \text{ de volt} \end{array} \right\} \Delta U_l = \frac{1}{20} = 0,05 \text{ V.}$$

$$\frac{\Delta U_l}{U} = \frac{0,05}{24} \approx 0,002 \text{ soit } 0,2 \%$$

On aurait pu écrire directement, sachant que $n = 120$:

$$\frac{\Delta U_l}{U} = \frac{1}{4 \times 120} \approx 0,002 \text{ soit } 0,2 \%$$

2° - l'incertitude relative totale sur U est alors :

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{\Delta U_i + \Delta U_l}{U} = 0,006 + 0,002 = 0,008 \text{ soit } 0,8 \%$$

- c) En résumé, nous calculons l'incertitude $\frac{\Delta X}{X}$ sur le résultat X d'une mesure (effectuée avec un appareil à déviation) de la façon suivante :

$$\frac{\Delta X}{X} = \frac{\Delta X_i}{X} + \frac{\Delta X_l}{X} + \frac{\delta X_s}{X}$$

Avec :

- ✱ $\frac{\Delta X_i}{X}$: incertitude relative instrumentale calculée à partir de la classe ;
- ✱ $\frac{\Delta X_l}{X}$: incertitude relative de la lecture calculée à partir de la fraction estimable de division ;
- ✱ $\frac{\delta X_s}{X}$: erreur systématique (supposée calculable si elle n'est pas éliminée) due à la méthode.

SI L'APPAREIL EST BIEN CHOISI ET ASSEZ PERFORMANT, LE TROISIÈME TERME ($\frac{\delta X_s}{X}$) EST GÉNÉRALEMENT NÉGLIGEABLE DEVANT LA SOMME DES DEUX AUTRES.

2.4. INCERTITUDE SUR UNE MESURE EFFECTUÉE AVEC UN APPAREIL NUMÉRIQUE

Pour ce type d'appareil, la notion de classe n'a pas été définie mais les constructeurs fournissent sous le nom de **précision** une indication permettant de calculer directement l'**incertitude totale** sur la mesure.

a) La **précision** est souvent donnée de la façon suivante :

$$x \% \pm y \text{ unités}$$

Pour l'incertitude absolue ΔX :

- $x \%$ représente un premier terme proportionnel à la lecture X : $\frac{x}{100} X$
- $y \text{ unités}$ représente un second terme, constant, égal à :

$$y \times \frac{\text{gamme utilisée}}{\text{nombre de points de l'appareil}}$$

En général " y " a pour valeur : 0,5 – 1 ou quelques unités.

EXEMPLE : voltmètre numérique

- à 3 tubes lumineux,
- possédant 300 points (000, 001, 002...298, 299),
- présentant une précision de 0,2 % \pm 1 u.

Sur la gamme 30 V, on a la correspondance : 1 unité \Rightarrow 30/300 = 0,1 V.

Si $U = 24 \text{ V}$, l'incertitude ΔU comporte 2 termes :

$$1^{\text{er}} \text{ terme} : \frac{0,2}{100} 24 = 0,048 \text{ V}$$

$$2^{\text{ème}} \text{ terme} : 0,1 \text{ V}$$

$$\text{D'où } \Delta U = 0,048 + 0,1 = 0,148 \text{ V} \approx 0,15 \text{ V}$$

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{0,15}{24} \approx 0,006 \text{ soit } 0,6 \%$$

b) il convient de faire les deux (2) remarques suivantes :

1. l'affichage numérique reste rarement le même au cours d'une mesure ; dans l'exemple précédent il sera par exemple 24,0 puis de temps en temps 24,1 ou 23,9. Il faut alors considérer que $U = 24,0 \text{ V}$ et que $\Delta U = 0,15 \text{ V}$ englobe toutes les incertitudes, ce qui permet d'écrire : $U = (24,0 \pm 0,15) \text{ volts}$.

2. Dans l'expression de ΔX , le second terme est en général le plus important : comme il est de la forme : $\frac{\text{gamme utilisée}}{\text{nombre de points de l'appareil}}$, on a intérêt, pour faire une mesure, à choisir la plus petite gamme possible.

Signalons que les constructeurs :

- Utilisent parfois le terme " digit " au lieu du terme " unité " ;
- Donnent fréquemment la précision sous la forme : $x \% \pm y \%$ de la gamme utilisée.

2.5. PRÉSENTATION D'UN RÉSULTAT DE MESURE

On peut écrire un résultat de mesure de deux manières différentes, en utilisant l'incertitude absolue ou l'incertitude relative, tout en respectant le nombre de chiffres significatifs.

$$X = (X_{mes} \pm \Delta X_{total}) \text{ [Unité de mesure]}$$

Ou encore

$$X = X_{mes} \text{ [Unité de mesure]} \pm \frac{\Delta X_{total}}{X_{mes}} \text{ [%]}$$

ERREURS EXPÉRIMENTALES

INCERTITUDE SUR UNE MESURE

3. CALCUL DES INCERTITUDES

3.1. SOMME ET DIFFÉRENCE

- A. Sur le montage de la **figure 2**,
calculons le courant principal I
à l'aide des mesures, I_1, I_2, I_3
des courants dérivés :

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Nous affectons d'un indice " v "

la valeur vraie des courants :

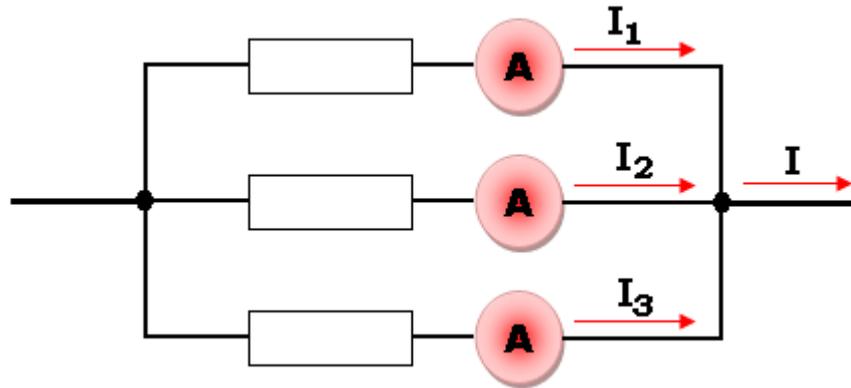


Figure 2

$$\begin{aligned}
 I_1 + I_2 + I_3 &= (I_{1v} + \delta I_1) + (I_{2v} + \delta I_2) + (I_{3v} + \delta I_3) \\
 I &= \underbrace{(I_{1v} + I_{2v} + I_{3v})}_{I_v} + \underbrace{(\delta I_1 + \delta I_2 + \delta I_3)}_{\delta I}
 \end{aligned}$$

L'erreur δI sur I est donc égale à la somme des erreurs sur les courants dérivés.

L'erreur sur I est, en valeur absolue, maximale donc égale à sa limite supérieure ΔI ;

d'où :

$$\Delta I = \Delta I_1 + \Delta I_2 + \Delta I_3$$

D'une façon générale :

**L'INCERTITUDE ABSOLUE SUR UNE SOMME EST ÉGALE À LA
SOMME DES INCERTITUDES ABSOLUES SUR CHAQUE TERME.**

Quand à l'incertitude relative elle est égale à :

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta I_1 + \Delta I_2 + \Delta I_3}{I_1 + I_2 + I_3}$$

**L'INCERTITUDE RELATIVE SUR UNE SOMME EST ÉGALE À
L'INCERTITUDE RELATIVE SUR CHACUN DES TERMES.**

B. On considère la grandeur X , égale à la différence de deux (2) grandeurs X_1 et X_2 :

$$X = X_1 - X_2$$

On pose : $X_1 = X_{1v} + \delta X_1$ et $X_2 = X_{2v} + \delta X_2$; on obtient :

$$X = (X_{1v} + \delta X_1) - (X_{2v} + \delta X_2)$$

On obtient, alors : $X = (X_{1v} - X_{2v}) + (\delta X_1 - \delta X_2)$;

Si, on a simultanément : $\delta X_1 = +\Delta X_1$
 $\delta X_2 = -\Delta X_2$ } Erreurs en sens inverse

L'erreur sur X est maximale et vaut, en valeur absolue, $\Delta X_1 + \Delta X_2$. Donc

$$\Delta X = \Delta X_1 + \Delta X_2$$

Comme pour une somme, les incertitudes absolues s'ajoutent : par contre, l'incertitude relative :

$$\frac{\Delta X}{X} = \frac{\Delta X_1 + \Delta X_2}{X_1 - X_2}$$

RÈGLES GÉNÉRALES DE CALCUL

Supposons que des mesures ont donné des valeurs x , y et z avec des incertitudes absolues instrumentales Δx , Δy et Δz . Considérons la fonction $f(x, y, z)$ dont on veut calculer df .

1^{ère} étape : on exprime la différentielle

$$df = \frac{\partial f}{\partial x} \cdot dx + \frac{\partial f}{\partial y} \cdot dy + \frac{\partial f}{\partial z} \cdot dz$$

2^{ème} étape : on calcule Δf , en faisant une majoration de df :

$$\Delta f = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| \cdot \Delta x + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right| \cdot \Delta y + \left| \frac{\partial f}{\partial z} \right| \cdot \Delta z$$

EXEMPLE 1 : Un moteur asynchrone ralentit légèrement lorsqu'on le charge ; avec un tachymètre à main (engendrant une incertitude relative de 1%) on mesure la vitesse :

- ✓ À vide : $M_1 = 1500$ tr/min
- ✓ En charge : $M_2 = 1450$ tr/min.

1. déterminer l'incertitude absolue, à vide et en charge, du tachymètre.
2. Sur la diminution de vitesse D telle que $D = M_1 - M_2 = 50 \text{ tr/min}$, Calculer l'incertitude absolue ΔD .
3. Calculer l'incertitude relative du tachymètre sur la diminution de vitesse. Dites si cette incertitude est acceptable.
4. Conclusion.

SOLUTION :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

EXEMPLE 2 : $f(x,y) = \frac{x \cdot y}{x+y}$

1^{ère} étape : on exprime la différentielle

2^{ème} étape : on calcule Δf

$$df = \frac{\partial f}{\partial x} \cdot dx + \frac{\partial f}{\partial y} \cdot dy$$

$$= \frac{y^2}{(x+y)^2} dx + \frac{x^2}{(x+y)^2} dy$$

$$\Delta f = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| \cdot \Delta x + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right| \cdot \Delta y$$

$$= \frac{y^2}{(x+y)^2} \Delta x + \frac{x^2}{(x+y)^2} \Delta y$$

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{y}{x+y} \cdot \frac{\Delta x}{x} + \frac{x}{x+y} \cdot \frac{\Delta y}{y}$$

3.2. PRODUIT, PUISSANCE ET RACINE

- A. On désire calculer la puissance P [watts] consommée par un récepteur à courant continu, à partir des mesures :
- De la tension U [volts] à ses bornes ;
 - Du courant I [ampères] qui le traverse.

On sait que $P = U \times I$.

Nous affectons d'un indice "v" la valeur vraie de la tension, du courant et de la puissance :

$$P_v + \delta P = (U_v + \delta U) \times (I_v + \delta I) = U_v \times I_v + U_v(\delta I) + I_v(\delta U) + (\delta U)(\delta I)$$

Le dernier terme $((\delta U)(\delta I))$ est beaucoup plus petit que les autres, nous le négligeons :

l'erreur absolue sur P se réduit à : $\delta P = U_v(\delta I) + I_v(\delta U)$ et l'erreur relative à :

$$\frac{\delta P}{P_v} = \frac{U_v(\delta I) + I_v(\delta U)}{U_v \times I_v} = \frac{\delta U}{U_v} + \frac{\delta I}{I_v}$$

Ce qui est peu différent de :

$$\frac{\delta P}{P_v} = \frac{\delta U}{U} + \frac{\delta I}{I}$$

Dans le cas le plus défavorable, les erreurs δU et δI sont :

- ☛ De même sens,
- ☛ Respectivement égale à ΔU et ΔI .

On en déduit que l'incertitude relative sur P est : $\frac{\Delta P}{P_v} \approx \frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I}$

D'UNE MANIÈRE GÉNÉRALE, L'INCERTITUDE RELATIVE SUR UN PRODUIT EST ÉGALE À LA SOMME DES INCERTITUDES RELATIVES SUR CHAQUE TERME.

B. L'expression $Y = X^p$ est par définition : $Y = \underbrace{X \cdot X \cdot X \dots \cdot X}_{p \text{ fois}}$

En appliquant la règle précédente, on obtient :

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \frac{\Delta X}{X} + \frac{\Delta X}{X} + \dots + \frac{\Delta X}{X} = p \frac{\Delta X}{X}$$

p fois

L'INCERTITUDE RELATIVE SUR LA PUISSANCE $p^{\text{ième}}$ D'UNE GRANDEUR EST ÉGALE p FOIS L'INCERTITUDE RELATIVE SUR LA GRANDEUR.

C. Quand à la racine $= \sqrt[p]{X}$, c'est par définition la puissance fractionnaire $Y = X^{\frac{1}{p}}$, donc :

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \frac{1}{p} \frac{\Delta X}{X}$$

L'INCERTITUDE RELATIVE SUR LA RACINE $p^{\text{ième}}$ D'UNE GRANDEUR EST ÉGALE $\frac{1}{p}$ FOIS L'INCERTITUDE RELATIVE SUR LA GRANDEUR.

3.3. QUOTIENT

Calculons la résistance R [Ω] d'un conducteur à partir des mesures, faites en courant continu :

- De la tension U [volts] à ses bornes ;
- Du courant I [ampères] qui le traverse.

On sait que que $R = \frac{U}{I}$; donc : $R_v + \delta R = \frac{U_v + \delta U}{I_v + \delta I}$

$$\Rightarrow \delta R = \frac{U_v + \delta U}{I_v + \delta I} - R_v$$

$$\Rightarrow \delta R = \frac{U_v + \delta U}{I_v + \delta I} - \frac{U_v}{I_v} = \frac{+I_v(\delta U) - U_v(\delta I)}{(I_v + \delta I) \times I_v} \approx \frac{I_v(\delta U) - U_v(\delta I)}{I_v^2}$$

Divisons l'expression de δR par $R_v = \frac{U_v}{I_v}$

$$\frac{\delta R}{R_v} = \left[\frac{I_v(\delta U) - U_v(\delta I)}{I_v^2} \right] \frac{I_v}{U_v} = \frac{\delta U}{U_v} - \frac{\delta I}{I_v}$$

Cette expression montre que $\frac{\delta R}{R_v}$ est maximal lorsque les erreurs δU et δI sont :

- ☞ De signes contraires,
- ☞ Respectivement égales à ΔU et ΔI en valeur absolue.

D'où :

$$\frac{\Delta R}{R_v} \approx \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I}$$

COMME POUR UN PRODUIT, L'INCERTITUDE RELATIVE SUR UN QUOTIENT EST ÉGALE À LA SOMME DES INCERTITUDES RELATIVES SUR LES DEUX TERMES.

3.4. PRÉCISION DES ÉLÉMENTS DE CIRCUIT

- A. Pour calculer l'incertitude sur X , il faut connaître l'incertitude affectant les valeurs données par le constructeur.

EXEMPLE : la puissance consommée dans une résistance R connue (valeur donnée par le constructeur) parcourue par un courant I (valeur mesurée) est $P = RI^2$; donc :

$\frac{\Delta P}{P} = \dots\dots\dots$ Pour accéder à $\frac{\Delta P}{P}$, il faut

connaître $\frac{\Delta R}{R}$.

- B. Chaque composant (résistance par exemple) est caractérisé par sa valeur et sa **précision** : cette dernière indication est, en pourcentage, l'**incertitude relative de construction**.

EXEMPLE : une boîte de résistances à décades $\times 10^2 \Omega$, a une précision de 0,5 %, c. à. d. $\frac{\Delta R}{R} =$

$$\frac{0,5}{100}$$

Sur la position 6 : $R = 6 \times 100 = 600 \Omega$ d'où $\Delta R = R \frac{0,5}{100} = 600 \times 0,005 = 3 \Omega$

Ainsi, dans le cas d'un composant variable :

- l'**incertitude relative**, c'est-à-dire la précision, est une constante ;
- l'**incertitude absolue** est proportionnelle à la valeur du composant.

3.5. NOMBRE DE CHIFFRES SIGNIFICATIFS D'UN RÉSULTAT

a) Dans la mesure d'une résistance, on a obtenu expérimentalement :

- Le courant $I = 6 \text{ A} \pm 0,1 \text{ A}$,
- Sous la tension $U = 127 \text{ V} \pm 2 \text{ V}$.

Le problème qui se pose est de savoir à quel moment il convient d'arrêter la division

$$127/6 = 21,16666 \dots \dots \dots \Omega$$

C'est-à-dire quel nombre de chiffres significatifs le résultat doit contenir (un chiffre significatif est un chiffre effectivement donné).

b) Or, le nombre de chiffres significatifs dépend de la précision de la mesure.

$$\frac{\Delta X}{X} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} = \frac{2}{127} + \frac{0,1}{6} = 3,25 \cdot 10^{-2}$$

$$\Delta X = 21,16 \times 3,25 \cdot 10^{-2} \approx 0,68 \Omega \approx 0,7 \Omega$$

Il serait ridicule de donner X avec 4 chiffres significatifs (c'est-à-dire deux (2) chiffres après la virgule) alors que l'on ne connaît pas exactement le 1^{er} chiffre après la virgule. Il convient d'arrondir et de donner le résultat sous la forme : $X = (21,2 \pm 0,7) \Omega$.

RAPPEL

CLASSE DE PRÉCISION DES APPAREILS 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.

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

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

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

Cette incertitude absolue va s'appliquer sur toutes les mesures effectuées sur ce calibre.

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

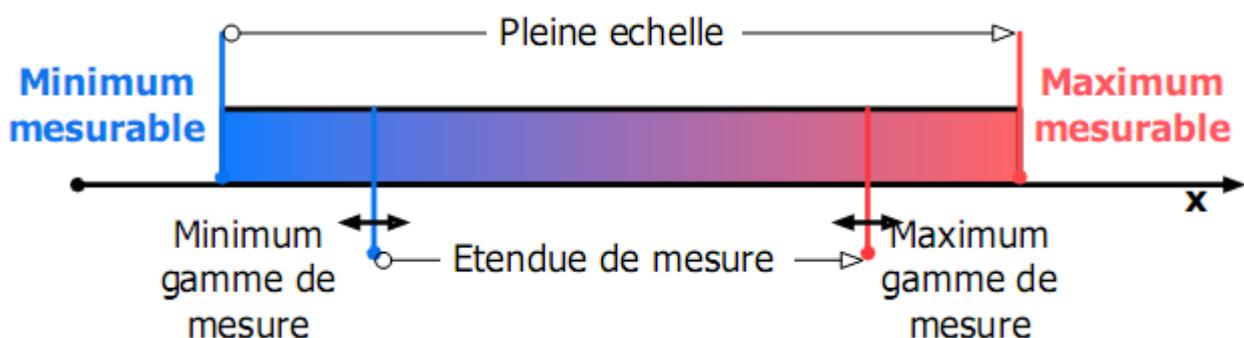
On remarque que les mesures les plus précises sont celles qui sont les plus grandes (les plus proches du calibre)

Les appareils électroniques et en particulier les appareils numériques plus précis que les appareils analogiques. (Classe de précision plus faible). Mais leur affichage peut faire illusion.

Exemple : Pour une mesure de 125,3 mA effectuée sur un appareil numérique de classe 0,5 utilisé sur le calibre 200mA, l'incertitude absolue est $0,5\% \times 200\text{mA} = 1 \text{ mA}$.

L'affichage des 1/10 est illusoire puisque la valeur exacte est comprise entre 124,3mA et 126,3 mA

Il ne faut pas confondre la résolution de l'appareil (0,1 mA) et l'incertitude absolue (1 mA).



Échelle sur mesure

NOMBRE DE CHIFFRES SIGNIFICATIFS

✓ Écriture d'une valeur numérique

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 100cm de longueur mesurée à 1cm près; est-il correct de dire que chaque morceau mesure 33,33 cm ?

La longueur du fil est comprise entre 99cm et 101cm, ce qui donne une fourchette de 33cm à 33,7cm pour chaque morceau.

On écrira que la longueur de chaque partie est 33,3 cm

Le 4^{ème} chiffre a été supprimé car il n'est pas significatif. Il n'y a que 3 chiffres significatifs.

Toute valeur numérique provenant d'une mesure ou d'un calcul (sur des grandeurs mesurées) doit être exprimée avec un nombre de chiffres significatifs tenant compte des incertitudes.

Voici une mesure de tension effectuée par un étudiant : $U = 25,4 \text{ V}$.

↪ Le nombre 25,4 comporte 3 chiffres significatifs : 2, 5 et 4.

↪ Le dernier chiffre de la mesure dépend uniquement de l'incertitude absolue. Il est tout à fait correct d'écrire pour ce même nombre $2,54 \cdot 10^{-1}$, ou encore $0,254 \cdot 10^{-2}$. Le nombre de chiffres significatifs (3) est respecté.

↪ Par contre, si l'étudiant écrit 25,40 V, cette mesure comporte 4 chiffres significatifs et l'incertitude absolue correspondante est exprimée au 100^{ème}. Dans le cas présent, l'incertitude absolue est 0,2 V ($10^{\text{ème}}$) et donc le chiffre 4 de 25,4 n'est pas une valeur exacte. On supprime donc tous les chiffres inutiles, et ceux qui restent sont appelés chiffres significatifs.

Remarques :

☞ Les zéros placés à gauche des nombres ne sont pas considérés comme des chiffres significatifs.

Exemple : 0,0235 mm comporte 3 chiffres significatifs (2, 3 et 5).

☞ Les zéros placés après des chiffres significatifs sont aussi des chiffres significatifs, s'ils font partie de la précision de la mesure.

Exemple : 0,02350 mm comporte 4 chiffres significatifs (2, 3, 5 et 0).

✓ Être ou ne pas être significatif

❖ Tous les chiffres non nuls sont significatifs.

1542,3 a : 5 chiffres significatifs.

15,423 a : 5 chiffres significatifs.
(la virgule n'intervient pas).

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

2005 a 4 chiffres significatifs.

187,50 a 5 chiffres significatifs.

187,5 a 4 chiffres significatifs.

Donc 187,50 et 187,5 ne sont pas identiques, le premier est plus précis.

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

0,52 a : 2 chiffres significatifs

0,0052 a : 2 chiffres significatifs.

- ❖ Les zéros placés à la fin d'un nombre sans virgule peuvent être ou ne pas être (là est la question) significatifs.

200 mA a : 1 ou 2 ou 3 chiffres significatifs.

Pour sortir de l'ambiguïté on peut changer d'unité et faire apparaître ainsi une virgule :

0,20A a : 2 chiffres significatifs.

0,200A a : 3 chiffres significatifs.

COMMENT ARRONDIR LES NOMBRES TROP POINTUS

- ✓ Pour obtenir un nombre correct de chiffres significatifs il faut arrondir certains résultats.
- ✓ On garde 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).

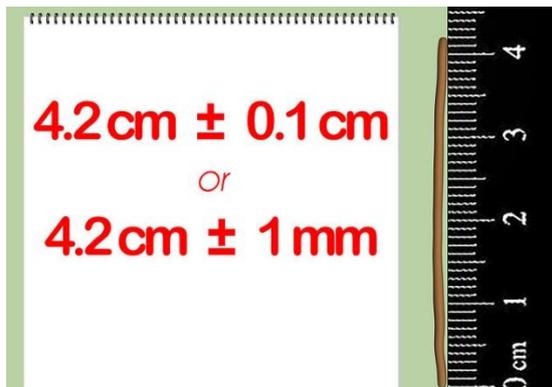
527,397 5 s'arrondit à	
527,398	avec 6 chiffres significatifs
527,40	avec 5 chiffres significatifs
527,4	avec 4 chiffres significatifs
527	avec 3 chiffres significatifs
530	avec 2 chiffres significatifs
500	avec 1 chiffre significatif

BILAN

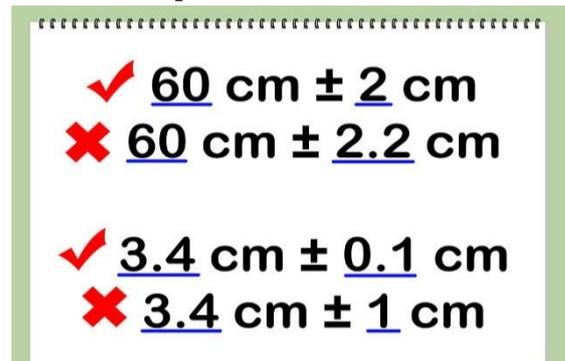
COMMENT CALCULER L'INCERTITUDE D'UNE MESURE ?

3 MÉTHODES

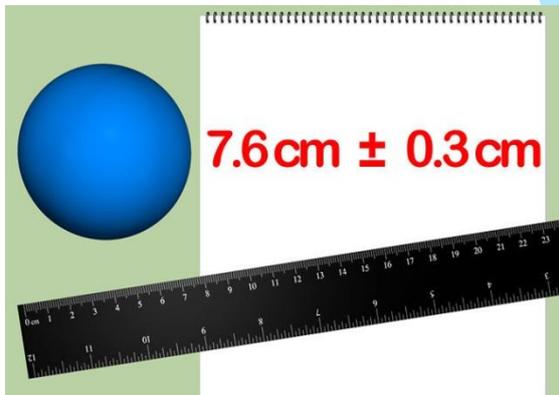
1. Établir correctement l'incertitude.



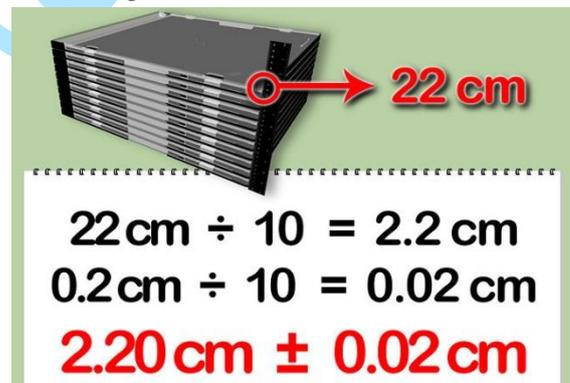
2. Arrondir toujours la mesure à la même décimale que l'incertitude.



3. Calculer l'incertitude d'une mesure unique.



4. Calculer l'incertitude de la mesure d'un seul objet composant une série homogène.



5. Prendre la même mesure plusieurs fois.

1st		cm
2nd		cm
3rd		cm
4th		cm
5th		cm

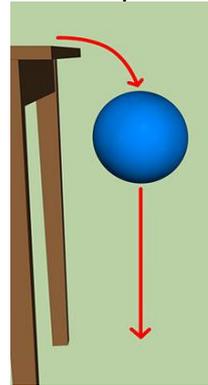
1^{ère} MÉTHODE

QUELQUES ÉLÉMENTS DE BASE

2^{ème} MÉTHODE

CALCUL D'INCERTITUDE DE MESURES MULTIPLES

1. Prendre plusieurs mesures.



1st	0.43 s
2nd	0.52 s
3rd	0.35 s
4th	0.29 s
5th	0.49 s

2. Calcul de la moyenne de ces mesures.

1st	0.43 s
2nd	0.52 s
3rd	0.35 s
4th	0.29 s
5th	0.49 s

$$\frac{2.08 \text{ s}}{5} = 0.42 \text{ s}$$

3. Trouver la variance de la série.

1st	0.43 s	- 0.42 s	= 0.01 s
2nd	0.52 s	- 0.42 s	= 0.1 s
3rd	0.35 s	- 0.42 s	= -0.07 s
4th	0.29 s	- 0.42 s	= -0.13 s
5th	0.49 s	- 0.42 s	= 0.07 s

$$(0.01)^2 + (0.1)^2 + (-0.07)^2 + (-0.13)^2 + (0.07)^2 = 0.037 \text{ s}$$

$$\frac{0.037 \text{ s}}{5} = 0.0074$$

4. Trouver l'écart-type.

$$\sqrt{0.0074} = 0.09 \text{ s}$$

5. Indiquer alors la mesure finale.

MESURE FINALE :

moyenne \pm écart-type

0.42 s \pm 0.09 s

1. Additionner des mesures incertaines.

$$(5\text{cm} \pm 0.2\text{cm}) + (3\text{cm} \pm 0.1\text{cm})$$

$$8\text{cm} \pm 0.3\text{cm}$$

2. Soustraire des mesures incertaines.

$$(10\text{cm} \pm 0.4\text{cm}) - (3\text{cm} \pm 0.2\text{cm})$$

$$7\text{cm} \pm 0.6\text{cm}$$

3. Multiplier des mesures incertaines.

$$(6\text{cm} \pm 0.2\text{cm}) \times (4\text{cm} \pm 0.3\text{cm})$$

$$24\text{cm} \pm 0.5\text{cm}$$

4. Diviser des mesures incertaines.

$$(10\text{cm} \pm 0.6\text{cm}) \div (5\text{cm} \pm 0.2\text{cm})$$

$$2\text{cm} \pm 0.8\text{cm}$$

5. Élever une mesure incertaine à une

$$(2.0\text{ cm} \pm 1.0\text{ cm})^3$$

$$(2.0)^3\text{ cm} \pm (1.0\text{ cm} \times 3)$$

$$8.0\text{cm} \pm 3\text{cm}$$

puissance donnée.

3^{ème} MÉTHODE

EFFECTUER DES
OPÉRATIONS
ARITHMÉTIQUES AVEC
DES MESURES
INCERTAINES.



MESURE DIRECTE DES RÉSISTANCES : OHMMÈTRE

1. **RÉSISTANCES ÉLECTRIQUES**
 - 1.1. DÉFINITION
 - 1.2. DIFFÉRENTS RÔLES DE RÉSISTANCES
 - 1.3. DIFFÉRENTS TYPES DE RÉSISTANCES
 - 1.4. MESURE DES RÉSISTANCES ÉLECTRIQUES
2. **MESURE DIRECTE DES RÉSISTANCES : L'OHMMÈTRE**
 - 2.1. PRINCIPE D'UN OHMMÈTRE À DÉVIATION
 - 2.2. MESURE D'UNE RÉSISTANCE À L'AIDE D'UN OHMMÈTRE À DÉVIATION
 - 2.3. MESURE D'UNE RÉSISTANCE AVEC UN OHMMÈTRE NUMÉRIQUE
3. **POURQUOI ET COMMENT MESURER UNE RÉSISTANCE ?**
 - 3.1. POURQUOI ?
 - 3.2. COMMENT ?
4. **MESURE DIRECTE DE RÉSISTANCE D'UNE DIODE AVEC L'OHMMÈTRE**
5. **MESURE DE RÉSISTANCE D'ISOLEMENT / D'ABSENCE DE COURT-CIRCUIT**
 - 5.1. POURQUOI MESURER LA RÉSISTANCE D'ISOLEMENT ?
 - 5.2. COMMENT MESURER LA RÉSISTANCE D'ISOLEMENT ?
 - 5.3. MESURE D'ISOLEMENT DE L'ENSEMBLE DE L'INSTALLATION PAR RAPPORT À LA TERRE
6. **MESURE DE CONTINUITÉ**
 - 6.1. POURQUOI MESURER LA CONTINUITÉ ?
 - 6.2. COMMENT MESURER LA CONTINUITÉ ?

MESURE DIRECTE DES RÉSISTANCES : OHMMÈTRE

1. RÉSISTANCES ÉLECTRIQUES

1.1. DÉFINITION

Une « **résistance** » est un dipôle couramment utilisé en électronique. Son symbole est : 

On lui associe une grandeur appelée également **résistance**, notée **R** et qui s'exprime en **Ohms (Ω)**.

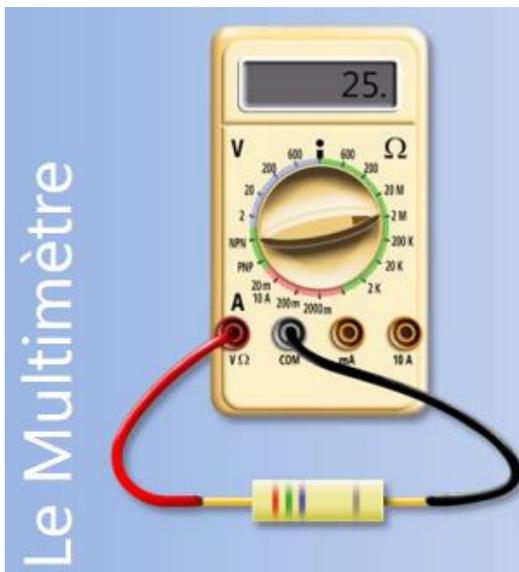
On peut la mesurer à l'aide d'un multimètre réglé en **ohmmètre**. 

On peut aussi lire sa valeur à l'aide du **code des couleurs**.

La valeur mesurée par l'ohm-mètre est la valeur précise de la résistance; les anneaux de couleurs nous informent sur la valeur donnée par le fabricant.

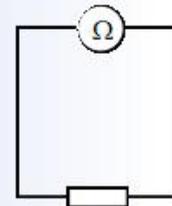
La grandeur qui lui est associée appelée également " **résistance** " peut être connue de deux (2) façons :

1^{ère} FAÇON : LE MULTIMÈTRE



On peut mesurer la valeur de la résistance à l'aide d'un multimètre réglé en ohmmètre.

Le montage est le suivant:



Le bouton de sélection indique le calibre utilisé: Il nous donne le multiple de la mesure. (Ici, il est sur 2M: l'unité de mesure est le mégohm ou $M\Omega$: $1 M\Omega = 1\,000\,000 \Omega$)

⊙ La valeur de la résistance mesurée est $R = 25 M\Omega = 25\,000\,000 \Omega$.

2^{ème} FAÇON : CODE DES COULEURS

Noir	Marron	Rouge	Orange	Jaune	Vert	Bleu	Violet	Gris	Blanc
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

On peut lire la valeur d'une résistance à l'aide de ses anneaux et du code des couleurs donné dans le tableau ci-contre.

Le code des couleurs

La 1 ^{ère} couleur donne le 1 ^{er} chiffre	La 2 ^{ème} couleur donne le 2 ^{ème} chiffre	La 3 ^{ème} couleur donne le nombre de zéros ou la puissance de 10	La 4 ^{ème} couleur donne la précision de fabrication de la résistance
Rouge	Vert	Bleu	
2	5	10 ⁶ 000 000	

⊕ La valeur de la résistance mesurée est $R = 25.10^6 \Omega = 25\ 000\ 000 \Omega$.

- Le 1^{er} anneau donne le 1^{er} chiffre de la valeur de la résistance (Ici, on a rouge: le 1^{er} chiffre de la valeur est donc 2)
- Le 2^{ème} anneau donne le 2^{ème} chiffre de la valeur de la résistance (Ici, on a vert: le 2^{ème} chiffre de la valeur est donc 5)
- Le 3^{ème} anneau donne la puissance de 10 ou le nombre de zéros que contient la valeur de la résistance (Ici, on a Bleu correspondant au chiffre 6: 10⁶ il y a donc 6 zéros dans la valeur de la résistance)

1.2. DIFFÉRENTS RÔLES DE RÉSISTANCES

Les résistances en électronique : elles varient de quelques ohms à plusieurs millions d'ohms. Ces dipôles sont conçus pour être utilisés sous de faibles tensions (quelques volts). Ils permettent de protéger d'autres dipôles en limitant l'intensité du courant.



Les résistances chauffantes: Le fil enroulé dans le sèche-cheveux est une résistance chauffante. Ces résistances occupent aussi les radiateurs électriques, les fours, les fers à repasser. Le dispositif de dégivrage d'une voiture est constitué d'une résistance chauffante collée sur la vitre arrière d'un véhicule. Leur résistance est assez faible (quelques ohms); ces dipôles peuvent être traversés par des courants de plusieurs ampères qui les chauffent.



Les potentiomètres et rhéostats: Les potentiomètres sont utilisés dans les postes de radio ou dans les chaînes hi-fi pour régler le volume du son.

1.3. DIFFÉRENTS TYPES DE RÉSISTANCES

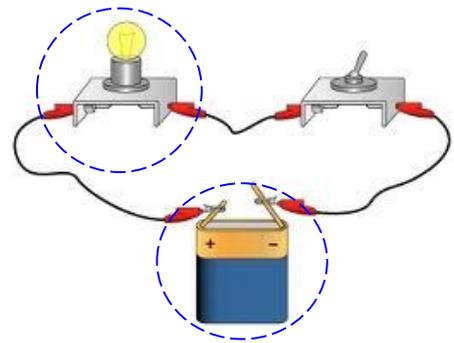
On trouve :

- La résistance des conducteurs passifs (dits aussi résistances mortes).
EXEMPLE : Fils de connexions, les éléments chauffants des appareils électroménagers, les rhéostats, les résistances étalons... ;



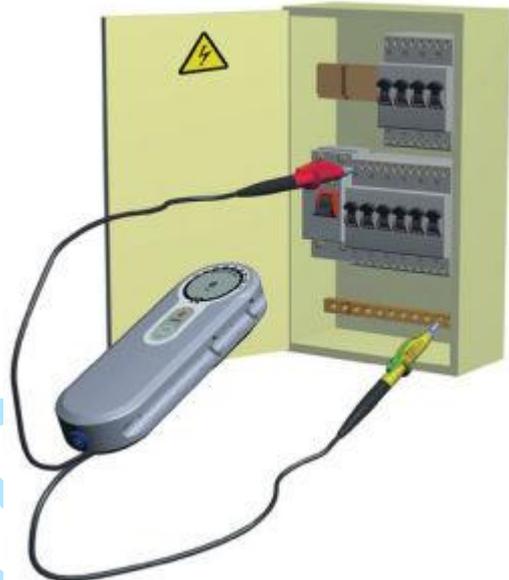
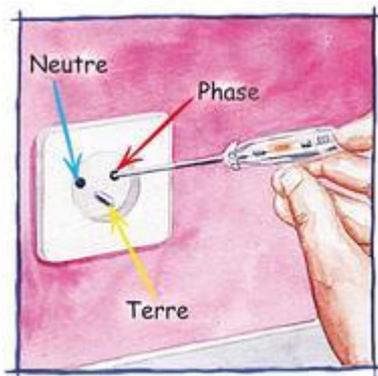
- La résistance des **conducteurs actifs**, celle des générateurs et des récepteurs.

EXEMPLE : Moteurs électriques, batterie d'accumulateurs... ;



- Les **résistances parasites** : ce sont des résistances mortes mais ni localisées, ni isolables.

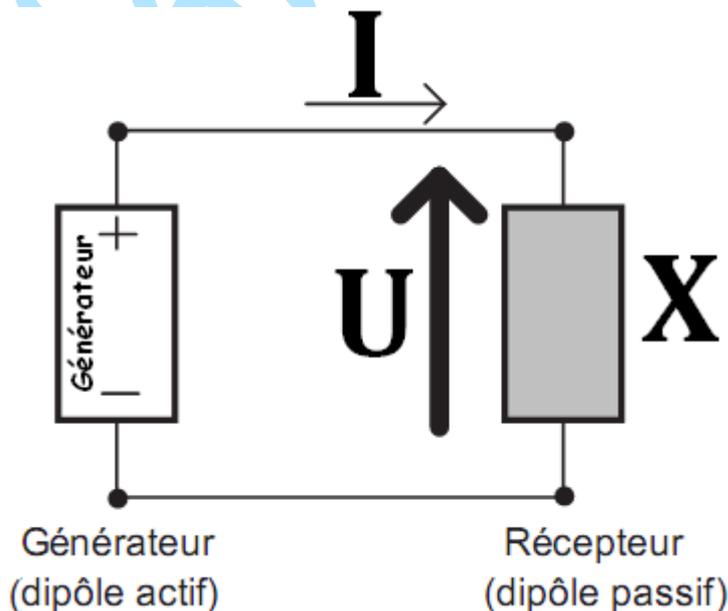
EXEMPLE : les résistances des prises de terre, les résistances d'isolement.



Mesure de l'isolement entre phase et PE

1.4. MESURE DES RÉSISTANCES ÉLECTRIQUES

- a) Pour mesurer la résistance X d'un élément passif, il faut nécessairement l'insérer dans un circuit électrique comprenant un générateur :



$$X = \frac{U}{I}$$

2. MESURE DIRECTE DES RÉSISTANCES : L'OHMMÈTRE

2.1. PRINCIPE D'UN OHMMÈTRE À DÉVIATION

- a) Une pile intérieure (de f. é. m. E et de résistance interne R_i) alimente le circuit (**figure 1**) constitué par :
- Le cadre mobile muni d'un shunt (résistance de l'ensemble : R_S),
 - Une résistance ajustable r pour le réglage du "zéro : 0",
 - La résistance à mesurer X (branchée entre les bornes C et + de l'appareil).

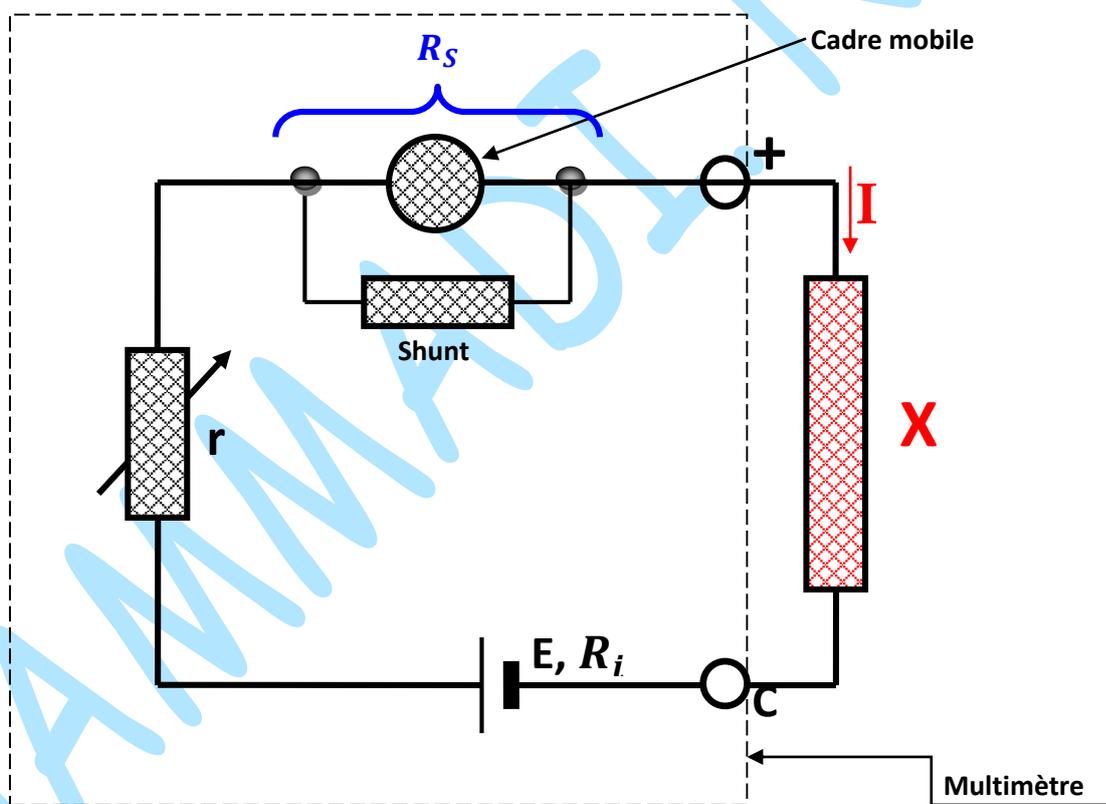


Figure 1 : Principe de la fonction ohmmètre d'un multimètre à déviation.

- b) Le courant I qui parcourt ce circuit a pour expression :

$$I = \frac{E}{R_S + R_i + r + X}$$

et la déviation " d " de l'aiguille, proportionnelle à I , est telle que :

$$kd = \frac{E}{R_S + R_i + r + X} \quad (1)$$

Si la résistance X est débranchée et si les bornes C et + sont court-circuitées (par un fil extérieur de résistance très faible) l'appareil est parcouru par un courant I_{CC} et la déviation du cadre mobile prend une valeur d_{CC} :

$$I_{CC} = \frac{E}{R_S + R_i + r} = k d_{CC} \quad (2)$$

En faisant le rapport, membre à membre, des relations (1) et (2), on obtient :

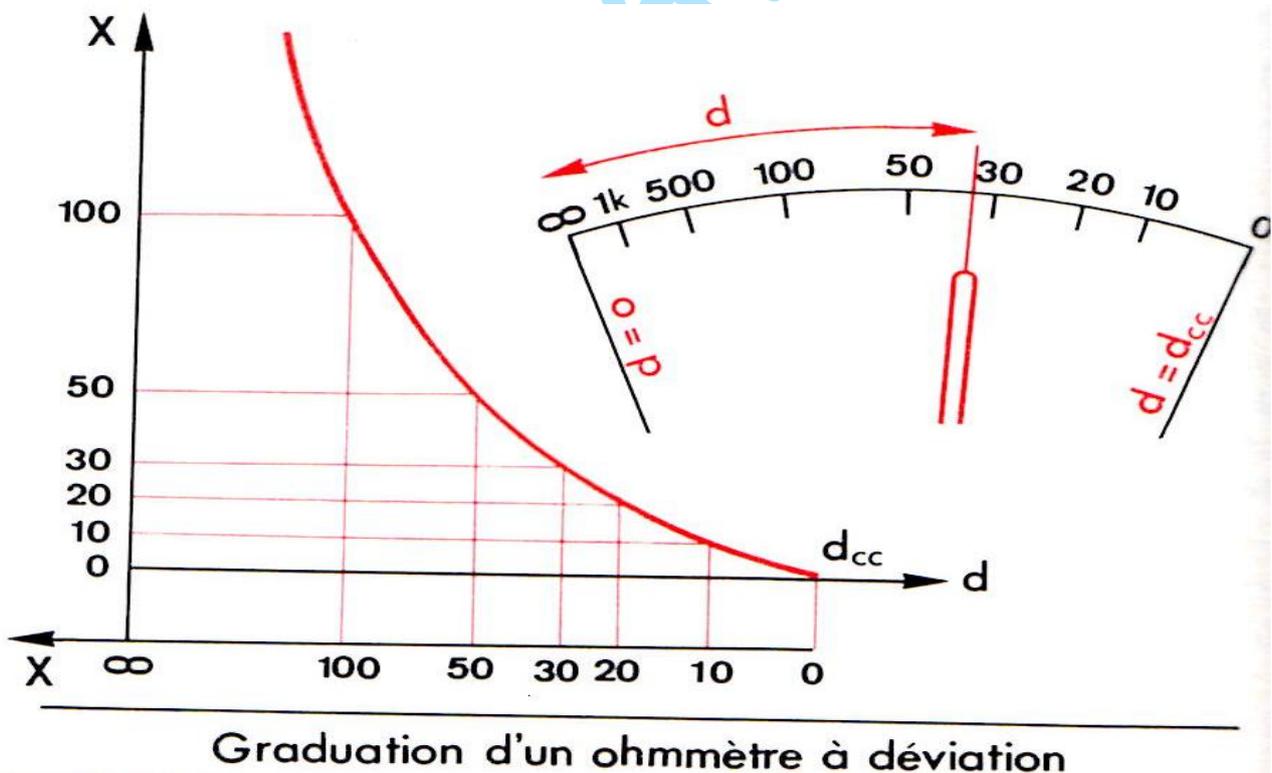
$$\frac{d_{CC}}{d} = \frac{R_S + R_i + r + X}{R_S + R_i + r} = 1 + \frac{X}{R_S + R_i + r}$$

Soit : $X = (R_S + R_i + r) \frac{d_{CC} - d}{d}$ ou encore

$$X = \frac{E}{k} \frac{d_{CC} - d}{d \times d_{CC}}$$

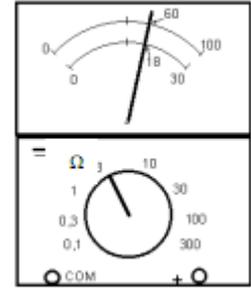
c) X est ainsi une fonction de " d " dont les variations sont représentées figure 2 ; on constate que :

- 1° le " zéro " de la graduation en Ω correspond à la déviation d_{CC} (qui est la déviation maximale).
- 2° la déviation nulle ($d = 0$) correspond à une résistance infinie (X débranchée).
- 3° les divisions sont de plus en plus serrées lorsqu'on passe de $X = 0$ à X infini.



En conclusion, il est possible de connaître par lecture directe sur une graduation, la valeur X d'une résistance inconnue : on a bien à faire à un ohmmètre.

2.2. MESURE D'UNE RÉSISTANCE À L'AIDE D'UN OHMMÈTRE À DÉVIATION



- a) Considérons un multimètre analogique :
1. isoler ou enlever la résistance à mesurer de la plaquette,
 2. Déterminer sa valeur nominale,
 3. Positionner l'appareil de mesure sur l'ohmmètre et choisir un calibre approprié,
 4. Joindre les deux bornes de l'appareil de mesure (bornes + et borne -) et posséder à l'étalonnage de « 0Ω adjust »,
 5. L'étalonnage consiste à tourner le bouton « 0Ω adjust » Jusqu'à ce que l'aiguille indique 0 sans oublier de joindre les deux bornes au moment de l'opération,
 6. Mesurer ensuite la résistance en appliquant chaque borne de l'appareil à une borne de la résistance ; éviter de toucher avec vos deux mains les deux bornes de la résistance, c'est-à-dire isoler une borne de la résistance du contact de la main,
 7. Trouver la valeur de la résistance mesurée en multipliant le calibre par l'échelle lue.

La fonction " ohmmètre " des multimètres à déviation permet d'obtenir très rapidement une valeur approchée des résistances comprises entre quelques ohms et quelques mégohms ; mais la précision est généralement médiocre (par exemple de 10 % seulement).

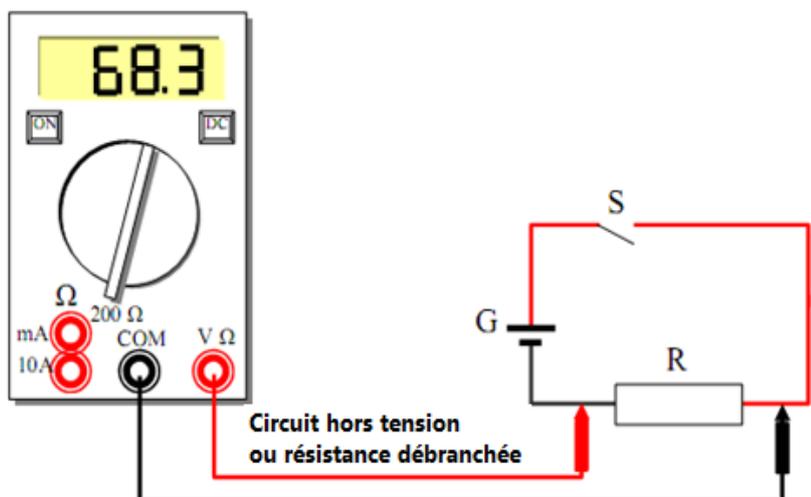
L'appareil choisi comme exemple possède 5 calibres :

	× 1	1 Ω à 5 k Ω	point milieu 4,75 Ω
	× 10	10 Ω à 50 k Ω	point milieu 47,5 Ω
	× 100	100 Ω à 500 k Ω	point milieu 4,75 k Ω
	× 1 k	1 k Ω à 5 M Ω	point milieu 47,5 k Ω
	× 10 k	10 k Ω à 50 M Ω	point milieu 475 k Ω

2.3. MESURE D'UNE RÉSISTANCE AVEC UN OHMMÈTRE NUMÉRIQUE

On considère, à titre d'exemple, l'appareil représenté dans la **figure 1** ; pour mesurer une résistance inconnue X , il suffit de :

1. isoler ou enlever la résistance à mesurer de la plaquette,
2. Déterminer sa valeur nominale,
3. Positionner l'appareil de mesure sur l'**ohmmètre** et choisir un calibre approprié,
4. Mesurer la résistance en isolant une borne du contact de la main. La mesurée est directement affichée à l'écran de l'appareil.



Pour mesurer une résistance, on branche le multimètre en **parallèle** ou aux bornes de la résistance lorsqu'elle est hors tension, circuit ouvert ou, débranchée du circuit avec l'une ou l'autre des deux pointes de touche. Avec le sélecteur central, on sélectionne la fonction **Ohmmètre** Ω (mesure de résistance), et le calibre **200 Ω** par exemple.

3. POURQUOI ET COMMENT MESURER UNE RÉSISTANCE ?

3.1. POURQUOI?

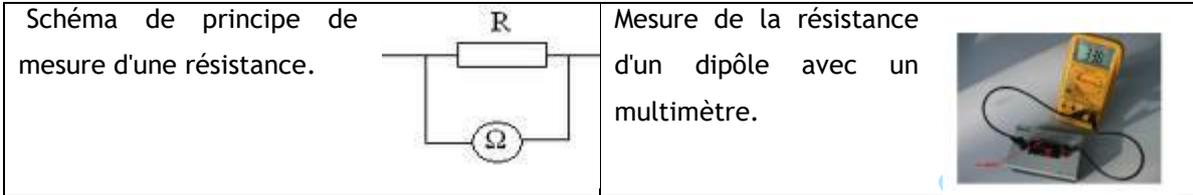
- Vérifier que la résistance des récepteurs (tels que chauffe-eau électrique, convecteur, plaque de cuisson, moteur.....) est conforme, notamment dans le cadre de la maintenance (recherche de panne).

Exemple : Un chauffe-eau électrique ne fonctionne plus alors qu'il est alimenté correctement.

- 2 cas peuvent se présenter : Soit le thermostat est HS soit la résistance du thermoplongeur est HS.
- Lors de la mesure de la résistance, la valeur théorique de la résistance est $R = 22\Omega$ et la mesure donne $R = \text{infinie}$.
- Conclusion la résistance est HS donc à changer.

3.2. COMMENT ?

- En utilisant un **ohmmètre**, ou le plus souvent un **multimètre** sur la **position Ω** .
- Il doit être branché en **DÉRIVATION** du récepteur dont on veut mesurer la résistance, et **LE RECEPTEUR DOIT ETRE HORS TENSION**.



ATTENTION

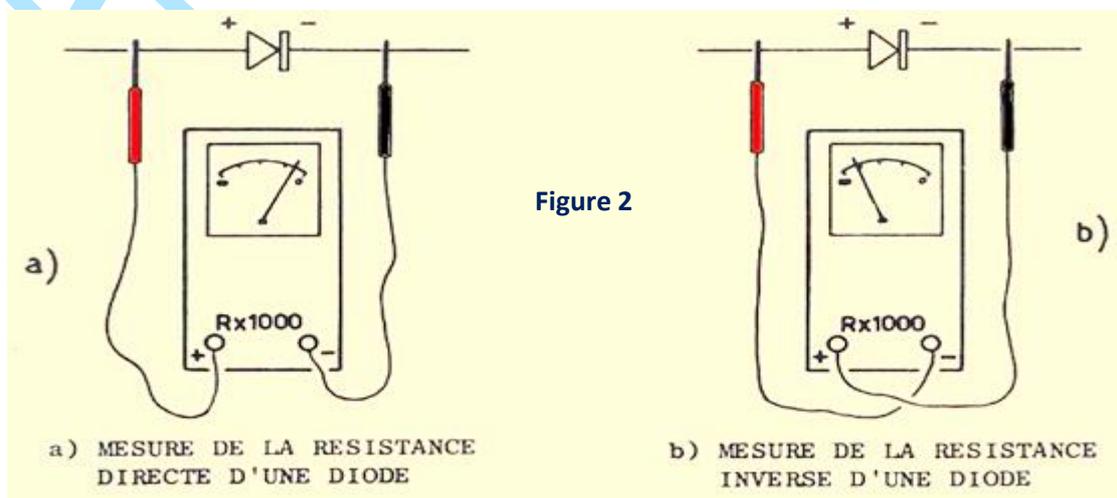
LA MESURE DOIT TOUJOURS SE FAIRE HORS TENSION

4. MESURE DIRECTE DE RÉSISTANCE D'UNE DIODE AVEC L'OHMMÈTRE

La **RÉSISTANCE DIRECTE**, dont la valeur est généralement comprise entre 400Ω et 700Ω , mais qu'on peut trouver supérieure à $1k\Omega$ sur certains types de diodes ou bien presque égale à zéro sur d'autres.

La **RÉSISTANCE INVERSE**, dont la valeur est généralement comprise entre 500 et $800 k\Omega$ mais qu'on peut trouver supérieure à $1 M\Omega$ sur quelques diodes spéciales pour fortes puissances.

Pendant qu'on mesure la **RÉSISTANCE DIRECTE**, on peut aussi identifier l'**ANODE**, qui correspond à la pointe de touche reliée au **POSITIF (+)** de l'**ohmmètre** et la **CATHODE** qui correspond à la pointe reliée au **NEGATIF (-)** comme il résulte de la **figure 2a**.



5. MESURE DE RÉSISTANCE D'ISOLEMENT / D'ABSENCE DE COURT-CIRCUIT

5.1. POURQUOI MESURER LA RÉSISTANCE D'ISOLEMENT ?

Une baisse du niveau d'isolement signifie :

- ✓ Un danger potentiel d'électrocution des personnes.
- ✓ Un danger pour les installations et les matériels (court-circuit, incendie.....)

La mesure de résistance d'isolement permet :

- ✓ La sécurisation pour les personnes des installations et des matériels électriques utilisés.
- ✓ La surveillance du vieillissement des machines et ainsi la réduction des temps d'immobilisation.

5.2. COMMENT MESURER LA RÉSISTANCE D'ISOLEMENT ?

- I. **Mesure d'isolement entre conducteurs (entre phases, entre phase et neutre, entre phase et PE..) :**
 - Vérifier qu'**aucun conducteur** n'a **subi de dommage** mécanique lors de l'installation.
 - La mesure est faite avant la mise en service, récepteurs débranchés, sur une installation hors tension, **PERMET DONC DE VERIFIER L'ABSENCE DE COURT CIRCUIT**.
- II. Pour contrôler l'absence de court-circuit, on utilise un **MÉGOHMMÈTRE** appelé aussi **CONTROLEUR D'ISOLEMENT**. Cet appareil mesure la résistance électrique **R** entre **2 bornes**, tout en appliquant une tension importante. Le choix de cette tension est possible à l'aide d'un commutateur placé sur l'appareil (**250V, 500V, 1000V**). Cette tension doit être choisie supérieure à la plus grande des tensions du réseau d'alimentation.
- III. En l'absence de court-circuit, la résistance électrique doit être très importante voire même infinie. Le **mégohmmètre** affiche alors la valeur **OL (Over Limit)**.

On doit obligatoirement vérifier l'absence de court-circuit entre tous les conducteurs actifs (Phases et Neutre).

5.3. MESURE D'ISOLEMENT DE L'ENSEMBLE DE L'INSTALLATION PAR RAPPORT À LA TERRE

- ✓ Vérifier que tous les **conducteurs** sont **isolés de la terre**. La mesure est faite avant la mise en service, conducteurs actifs reliés, récepteurs branchés, **installation hors tension**.

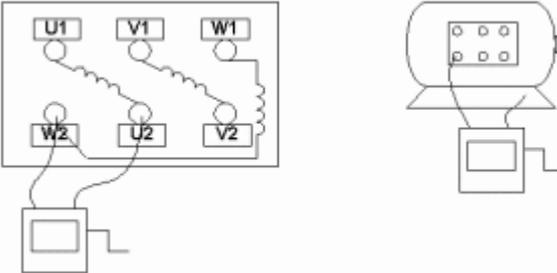
Aspect normatif :

La NFC 15-100 exige les valeurs minimales ci-dessous :

Tensions nominales de l'installation	Tension de test DC	Résistance d'isolement minimale
< 50V	250V	> 0,25 MΩ
De 50V à 500V	500V	> 0,5 MΩ
De 500V à 1000V	1000V	> 1 MΩ

ATTENTION

LA MESURE D'ISOLEMENT OU D'ABSENCE DE COURT CIRCUIT DOIT TOUJOURS SE FAIRE HORS TENSION.

		
<p>Mesure de l'isolement entre phase et PE.</p>	<p>Mesure isolement Moteur asynchrone : Entre enroulements et entre enroulement et carcasse</p>	<p>Vérification de l'absence de court-circuit en aval d'un disjoncteur</p>

6. MESURE DE CONTINUITÉ

6.1. POURQUOI MESURER LA CONTINUITÉ ?

- ✓ Valider la continuité et la résistance du conducteur PE dans une installation, conducteur de masse qui écoule les défauts à la terre. Sa résistance doit être inférieure à 2Ω.
- ✓ Vérifier la continuité des conducteurs dans une armoire électrique, un coffret.....

6.2. COMMENT MESURER LA CONTINUITÉ ?

- ✓ En utilisant soit un multimètre position Ω et BUZZER, soit un contrôleur d'installation sur la position Ω .

Lors d'un **test de continuité** le résultat est **SONORE**, indiquant que la continuité ou le composant testé est en bon état, (muet si composant défaillant), la résistance doit être inférieure à 2Ω .

Cela permet de mettre en évidence les coupures de liaisons entre les conducteurs.

ATTENTION
LA MESURE DOIT TOUJOURS SE FAIRE
HORS TENSION.



Exemple de mesure de continuité du PE entre 2 prises.

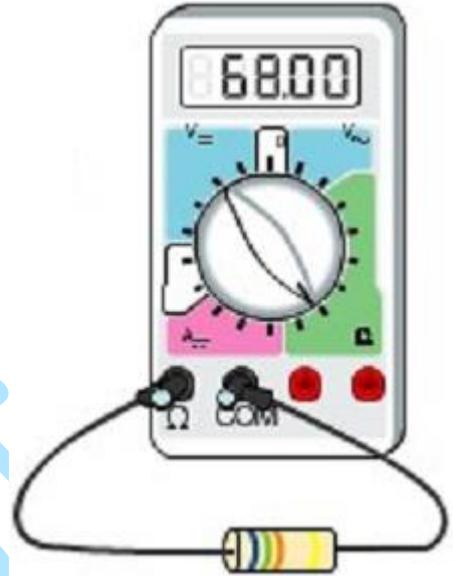


Mesure de la continuité des phases entre disjoncteurs dans un tableau électrique.

BILAN



Provoque une **diminution** de l'intensité du courant.

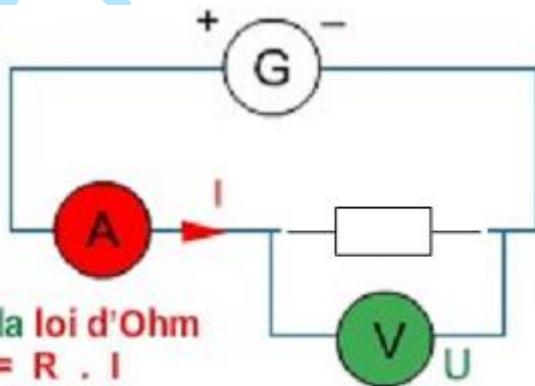


Se mesure avec un **ohmmètre**.
Unité : **ohm** (Ω)



Une **résistance**

HAM



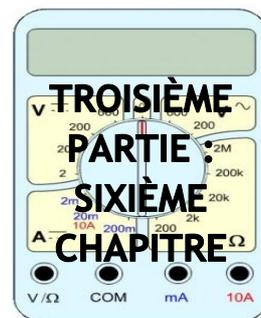
Obéit à la loi d'Ohm

$$U = R \cdot I$$

↓ ↓ ↓
(V) (Ω) (A)



La tension à ses bornes est **proportionnelle** à l'intensité qui la traverse. C'est un **conducteur ohmique**.



LE MULTIMÈTRE NUMÉRIQUE

1. FONCTION
 2. CONSTITUTION
 3. LA MESURE
 4. UTILISATION EN VOLTMÈTRE
 5. LE TEST DE CONTINUITÉ
 - 5.1. TEST DE CONTINUITÉ À L'OHMMÈTRE
 - 5.2. TEST DE CONTINUITÉ EN BIPPER
 6. BRANCHEMENT DES CORDONS
 7. MESURE DE TENSIONS
 - 7.1. TENSION ENTRE QUOI ET QUOI ?
- TEST CONDENSATEURS - TEST INDUCTANCES**
8. TEST DE CONDENSATEURS
 - 8.1. TEST DE CHARGE
 - 8.2. TEST DE CAPACITÉ PAR LA FONCTION OHMMÈTRE
 - 8.3. UTILISATION D'UN CAPACIMÈTRE
 - 8.4. UTILISATION D'UN APPAREIL À DÉVIATION
 9. TEST D'UNE INDUCTANCE PAR LA FONCTION OHMMÈTRE

TEST DIODES

10. VÉRIFICATION D'UNE DIODE

- 10.1. VÉRIFICATION PAR MESURE DE SA RÉSISTANCE
- 10.2. VÉRIFICATION PAR UTILISATION DE LA FONCTION " TEST DIODE "

TEST TRANSISTORS

11. VÉRIFICATION D'UN TRANSISTOR

- 11.1. TEST DE CONDUCTION (VÉRIFICATION D'UN TRANSISTOR PAR LA FONCTION TEST DE DIODE)
- 11.2. VÉRIFICATION D'UN TRANSISTOR PAR LA FONCTION OHMMÈTRE
- 11.3. VÉRIFICATION D'UN TRANSISTOR AVEC LA MESURE DU GAIN (béta, h_{FE})
- 11.4. COMMENT IDENTIFIER LA SORTIE DE BASE D'UN TRANSISTOR
- 11.5. COMMENT DÉTERMINER LE TYPE (PNP ou NPN) D'UN TRANSISTOR
- 11.6. COMMENT IDENTIFIER LES CONNEXIONS DE COLLECTEUR ET D'EMETTEUR
- 11.7. COMMENT DÉTERMINER LES CARACTÉRISTIQUES D'UN TRANSISTOR ?

LE MULTIMÈTRE NUMÉRIQUE

1. GÉNÉRALITÉS

1. FONCTION

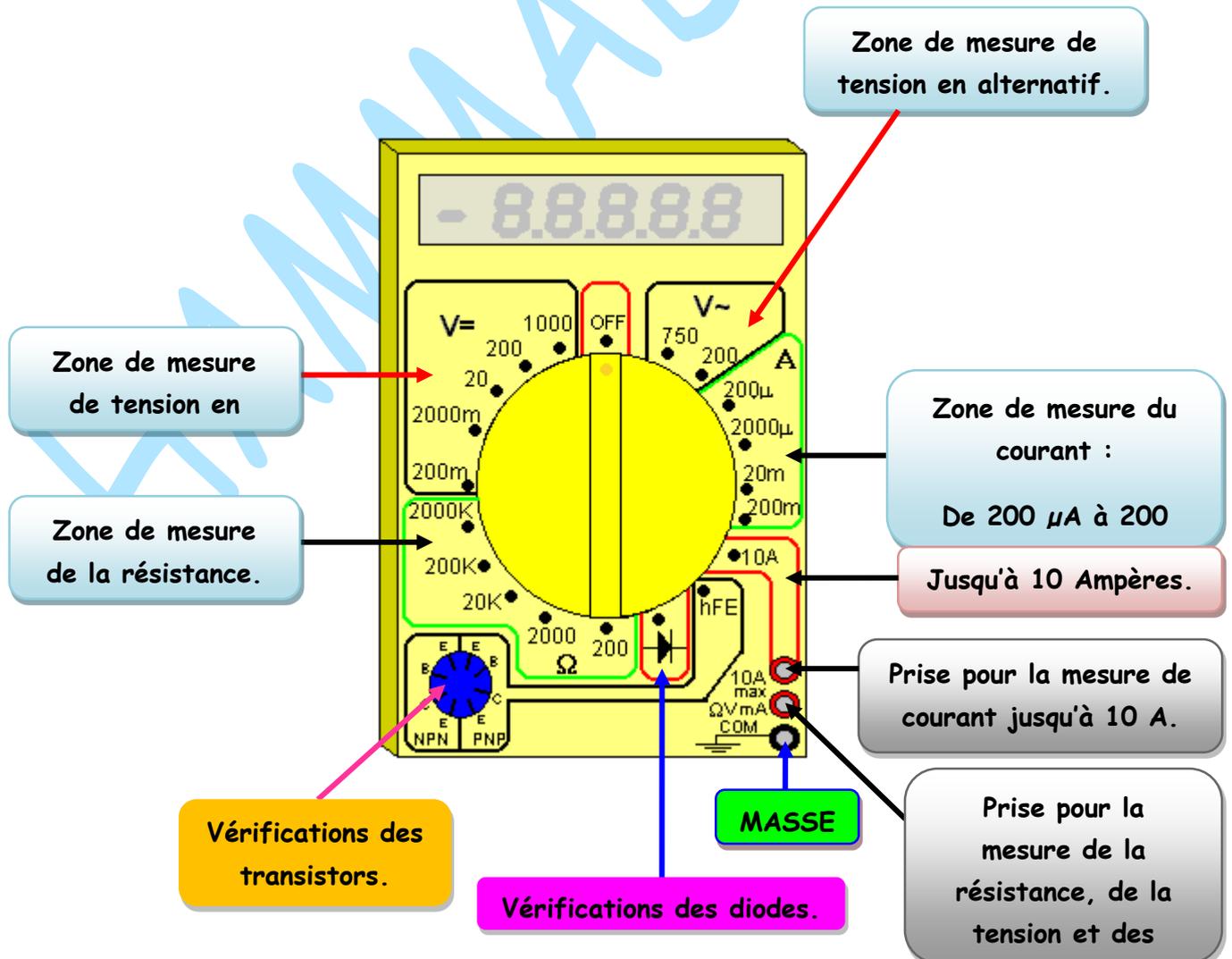
Un **multimètre** (appelé également **contrôleur universel**) est un ensemble d'appareils de mesures électriques regroupés en un seul boîtier, généralement constitué d'un **voltmètre**, d'un **ampèremètre** et d'un **ohmmètre**.

2. CONSTITUTION

Suivant la position du bouton tournant, le **multimètre** permet de mesurer :

- Une tension (voltmètre) ;
- Une résistance (ohmmètre) ou continuité ;
- Une intensité (ampèremètre).

En maintenance, les contrôles au **voltmètre** et à l'**ohmmètre** sont les plus utilisés.



Sur le type de **multimètre** ci-dessous, il n'est pas nécessaire de le calibrer lors d'une mesure, il **s'auto-calibre** (il choisit le bon calibre automatiquement) ; il suffit juste de sélectionner la bonne **zone d'utilisation** en fonction de ce qu'on souhaite mesurer.

Tous les **multimètres** ne s'auto-calibrent pas. Certains multimètres nécessitent de choisir le calibre (2, 20, 200, ...).



3. LA MESURE

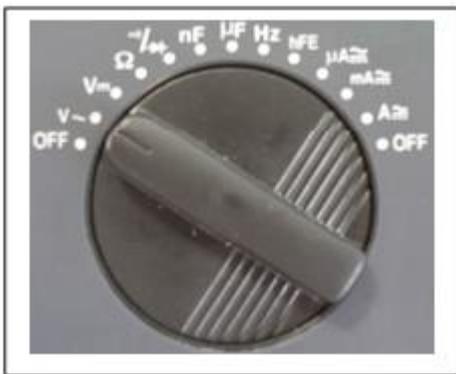
1. **La partie voltmètre** permet de mesurer des tensions continues et alternatives (unité le volt).
 2. **La partie ampèremètre** permet de mesurer des courants continus ou alternatifs (unité l'ampère).
 3. **La partie ohmmètre** permet de mesurer la valeur des résistances (unité l'ohm).
 4. **D'autres fonctions** peuvent être incorporées aux multimètres tels que le **testeur de continuité**, le **testeur de diodes** et de **transistors (bétamètre)**, le **capacimètre**, le **fréquencemètre**, la **mesure des températures** avec sondes Thermocouple,....
- Le **testeur de continuité** permet de tester si un circuit est ouvert ou fermé.
 - Le **testeur de diodes** et de **transistors** permet de vérifier le bon fonctionnement des semi-conducteurs.
 - Le **capacimètre** permet de mesurer la capacité d'un condensateur (unité le farad).

- Le **fréquence**mètre permet de mesurer la fréquence d'un signal alternatif (l'unité l'hertz).
- La mesure de la **température** avec un multimètre peut s'effectuer avec l'aide d'un thermocouple qui est souvent du type K (unité le degré centigrade ou fahrenheit).

4. UTILISATION EN VOLTMÈTRE

Une grande majorité des multimètres nécessitent de faire le choix préalable du type de tension à mesurer, selon qu'elle soit en **continu** ou en **alternatif**.

Avant toute mesure, il est impératif de connaître le **type de tension (alternatif ou continu)** à mesurer. On place alors le bouton tournant dans la zone d'utilisation voltmètre (alternatif ou continu).



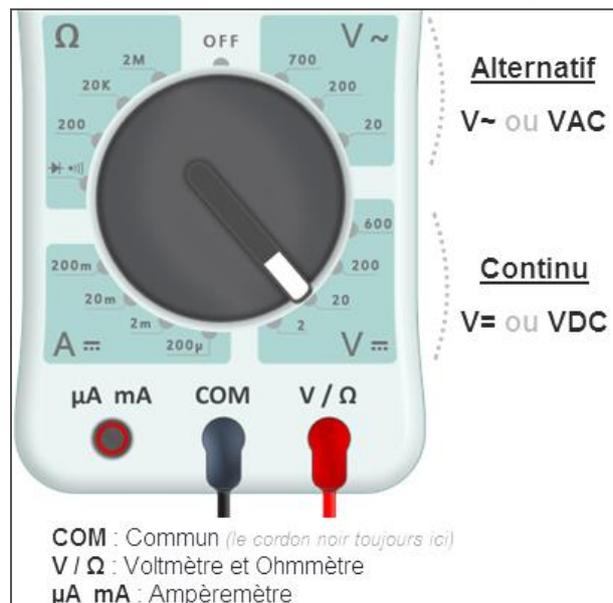
Mesure de tension alternative



Mesure de tension continue

- Le **courant alternatif** est celui produit par nos centrales électriques, groupes électrogènes, éoliennes, ... Toutes ces sources d'énergie électrique ont en commun qu'elles sont produites par des machines tournantes. Nos installations électriques domestiques sont alimentées en 220 volts alternatifs, ou en 400 V pour les installations triphasées.

La mesure d'une tension alternative, dite sinusoïdale, est symbolisée la lettre **V** (Volt) suivie d'une sinusoïde ou des lettres **AC** (Alternative Courant), soit **V~** ou **VAC**.



- Le courant continu est plus généralement produit par procédés chimiques (piles et accumulateurs), via des cellules photoélectriques (panneaux photovoltaïques) ou encore par effet thermoélectrique (principe du thermomètre numérique).

La mesure d'une tension continue est symbolisée elle aussi par la lettre **V**, suivie de deux barres parallèles ou des lettres **DC** (Direct Courant), soit **V=** ou **VDC**.

- Le calibrage consiste à régler l'appareil de mesure sur le niveau directement supérieur à la valeur que nous nous apprêtons à mesurer, parmi les seuils de tension proposés. En cas de doute, on part de la valeur la plus élevée pour ne pas risquer d'endommager l'appareil, puis selon la valeur qui s'affiche, on descend aux niveaux inférieurs pour davantage de précision.

- Voici pour exemple deux (2) mesures de tensions continues, l'une sur une batterie automobile (12V=) et la seconde sur une pile de 1,5V.

- Nous avons proposés en tension continue pour ce modèle les calibres : 600 V ; 200 V ; 20 V et 2 V.

- Le calibre directement supérieur aux 12 V attendus est le 20 V. Nous pourrions ici laisser le calibre sur 20 V, mais celui de 2 V nous est également proposé. En choisissant ce dernier nous gagnons en précision, notre tension étant vraisemblablement sous le seuil des 2 V.



Lorsque la valeur "1" s'affiche, cela indique que le calibre choisi est trop faible. Il faut alors remonter à des calibres supérieurs.

5. LE TEST DE CONTINUITÉ

Pour contrôler l'état d'un composant à l'aide d'un **multimètre** (bon ou mauvais), 2 solutions s'offrent :

- ⊗ Le contrôle de la résistance appelé **TEST DE CONTINUITÉ À L'OHMMÈTRE** ;
- ⊗ Le **TEST DE CONTINUITÉ EN BIPPER**.

Au final, ces 2 tests révéleront la même chose sur l'état du composant sauf que

- Le test de continuité à l'ohmmètre indiquera une valeur en OHM (Ω) qu'il faudra interpréter ;
- Le test de continuité en BIPPER indiquera l'état du composant par un son.

5.1. TEST DE CONTINUITÉ À L'OHMMÈTRE

Positionner le bouton tournant sur le symbole Ω

- Si l'appareil indique une **valeur proche de 0Ω** (va de la résistance initiale du composant) alors le composant testé est en **bon état**.
- Si l'appareil indique une **valeur en dépassement (O. L. Over Load)**, le composant est **défaillant**.

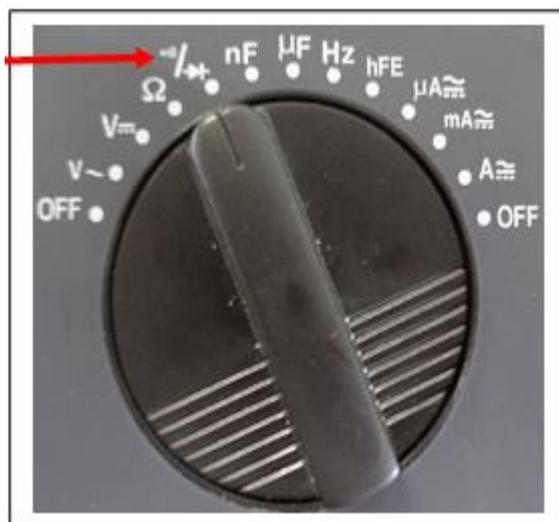


5.2. TEST DE CONTINUITÉ EN BIPPER

On positionne le bouton tournant sur le symbole

Si l'appareil **sonne**, la partie testée laisse passer le courant (continuité du circuit) ;

Sinon, le passage du courant est interrompu.



ATTENTION : il est impératif de contrôler l'état de l'appareil (**multimètre**) avant de faire tout test en faisant toucher les 2 pointes de touches entre elles et vérifier que le **multimètre** bip.

Pour mesurer la continuité d'un circuit électrique, il est impératif d'isoler le circuit à contrôler.

6. BRANCHEMENT DES CORDONS

Pour l'utilisation en voltmètre et en ohmmètre, le **cordons noir** se branche sur la borne **COM**, le **cordons rouge** sur la borne **V/Ω**. La mesure se fait entre les 2 pointes de touche des cordons.

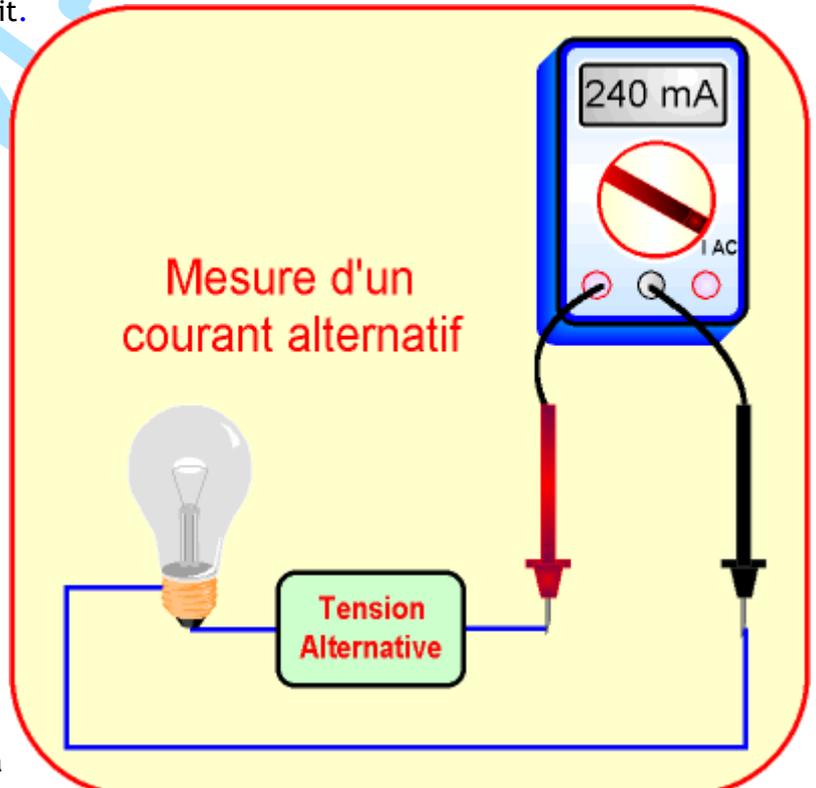


ATTENTION :

Veillez à bien brancher le cordon sur l'orifice qui correspond à votre mesure

MESURE DU COURANT ALTERNATIF AVEC UN MULTIMÈTRE

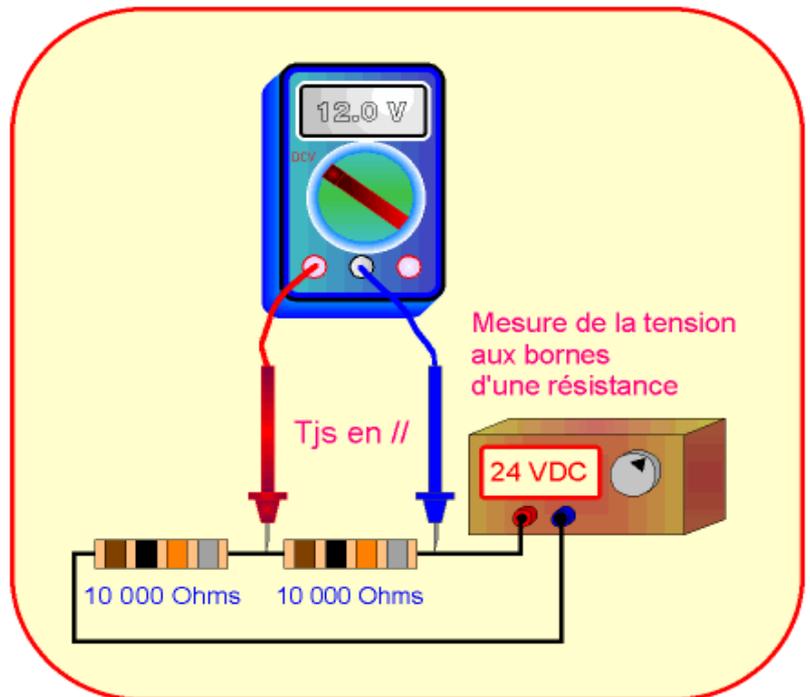
1. Allumer le multimètre (**ON OFF**) et placer le commutateur du multimètre sur la plus grande valeur (dans notre cas **200 mA**) du calibre ampère alternatif (**A.C.A.**).
2. Insérer le multimètre dans le circuit.
Pour ceci, il faut absolument **ouvrir le circuit et le placer en série** avec les éléments du circuit. Les bornes **COM (commun)** et **A (ampère)** du multimètre doivent être utilisées.
3. Lisez la mesure indiquée **en milliampère (millième d'ampère)**.
4. Si le courant mesuré doit être **plus grand que 200 mA**, il faut placer le commutateur sur **20 Ampères** et déplacer le fil en **A** sur la borne **20 A**. Lire le résultat **sur le cadran LCD en ampères**.



Pour mesurer un courant continu, la procédure est identique à celle de l'alternatif, sauf que l'on doit positionner le commutateur sur calibre **COURANT CONTINU (DCA)**.

LE VOLTMÈTRE

- Le **voltmètre** est la partie de l'appareil de mesure (le multimètre) qui permet de mesurer des tensions continues (piles, batteries) ou des tensions alternatives (tension du réseau d'une alimentation domestique).
- Pour effectuer une mesure en tension alternative choisir le calibre **A.C.V.**
- Pour effectuer une mesure en tension continue choisir le calibre **D.C.V.**

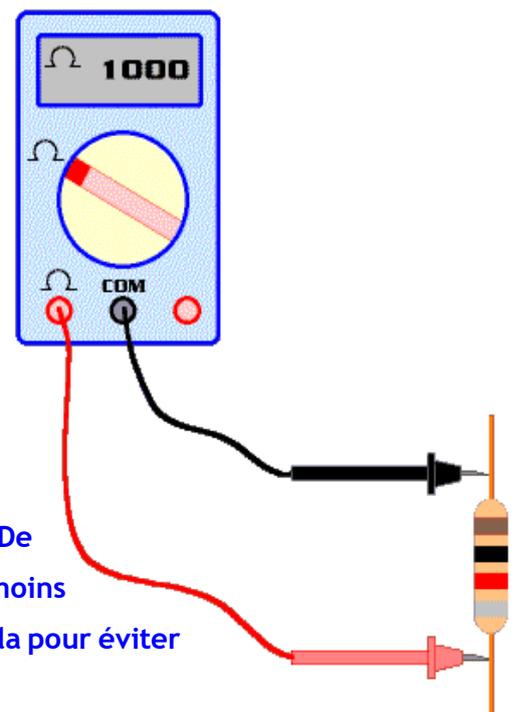


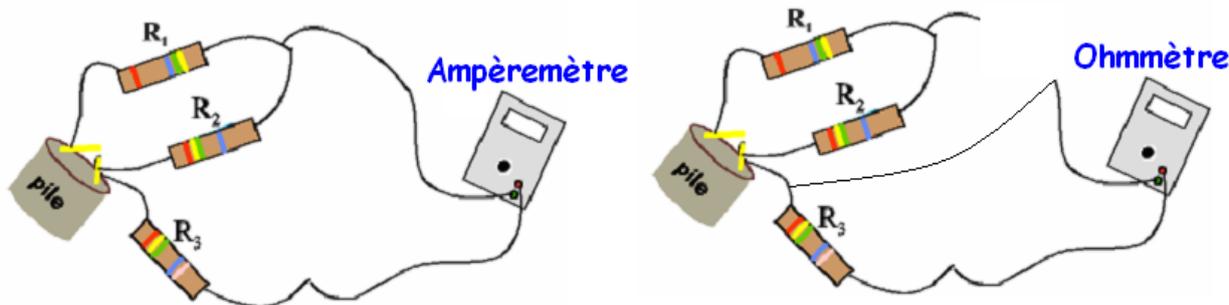
Contrairement à l'ampèremètre (qui se place toujours en série), le voltmètre se place toujours en parallèle sur l'élément à mesurer. Il ne faut donc jamais interrompre le circuit pour mesurer une tension.

L'OHMMÈTRE

- L'**ohmmètre** est la partie de l'appareil de mesure (le multimètre) qui permet de mesurer la valeur ohmique des résistances utilisées principalement en électronique. L'unité mesurée s'exprime en ohms, kilohms (milliers d'ohms), mégohms (millions d'ohms) et son symbole est oméga Ω .
- Pour effectuer une mesure avec la partie ohmmètre d'un multimètre, on doit placer le calibre sur **ohm**.

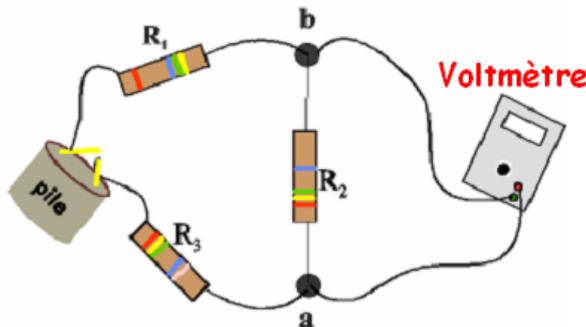
On doit toujours effectuer la mesure d'une résistance avec un circuit non alimenté (le circuit n'étant pas sous tension). De plus, si celle-ci est soudée sur un circuit imprimé, on doit au moins dessouder une de ses broches avant d'effectuer la mesure, cela pour éviter une influence néfaste des autres composants sur la mesure.





L'ampèremètre est placé en série avec la résistance R_3 et mesure le courant qui y passe.

la figure montre la manière correcte d'effectuer la mesure de la résistance R_3



Le voltmètre est placé en parallèle avec la résistance R_2 et mesure la tension à ses bornes.

7. MESURE DE TENSIONS

Mesurer une tension comporte des risques, la mesure s'effectuant par définition « sous tension », donc en présence de courant électrique. Ces risques dépendent de la nature et de la valeur de la tension à mesurer, mais plus encore des conditions dans lesquelles nous allons devoir effectuer nos relevés.

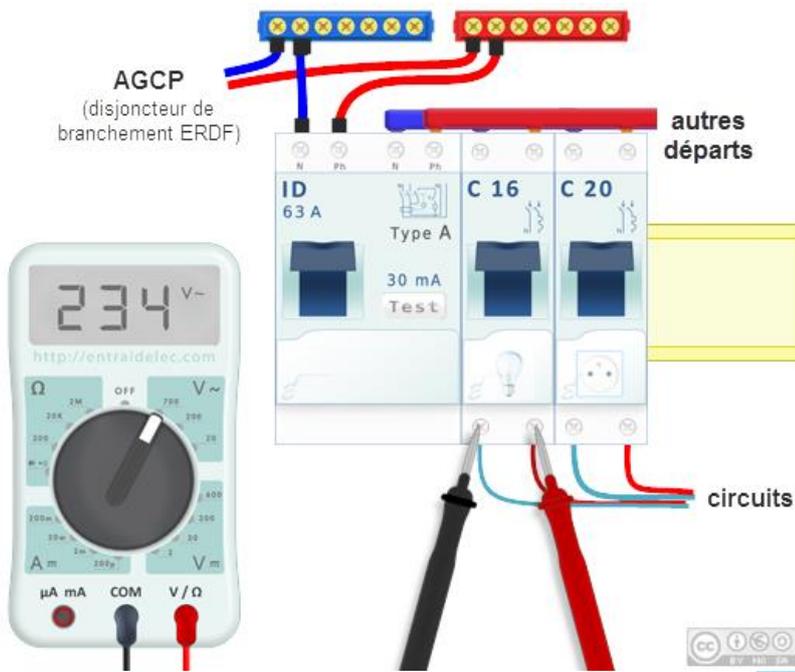
Il convient en outre de savoir régler et calibrer son appareil de mesure selon les valeurs attendues, et en interpréter les résultats.

7.1. TENSION ENTRE QUOI ET QUOI ?

La tension est la principale condition à la formation de « courant électrique ». La tension, ou différence de potentiel se mesure entre deux points d'un circuit, comme si nous mesurions la différence d'altitude entre deux lieux. Chacun de ces points a un potentiel électrique, pouvant être positif, nul (neutre) ou négatif.

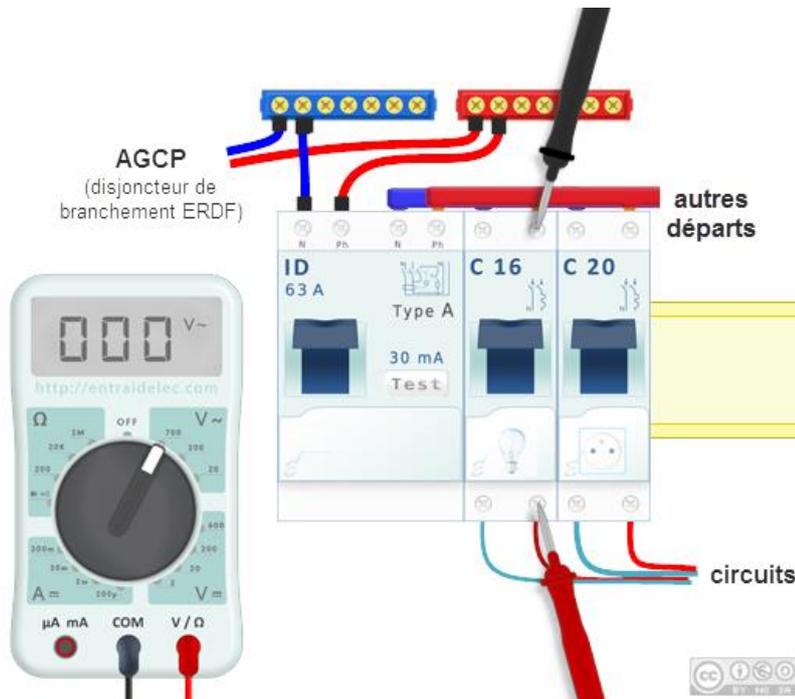
Cette notion de potentiel est très importante, car le voltmètre (fonction de « mesure de tension » d'un **multimètre**) ne donne pas le niveau de charge électrique de chacun des points, mais seulement la différence entre ces derniers.

Entre deux potentiels de **230V**, le multimètre nous indiquera **0V** de tension. Une mesure mal effectuée ou mal interprétée peut donc nous être fatale, si en voyant s'afficher **0V** nous nous pensons en sécurité.



Ici à gauche une mesure de tension entre neutre (0V) et phase (230V) en sortie d'un disjoncteur.

Le multimètre nous retourne bien une valeur proche des 230 volts attendus.



La mesure est à présent effectuée sur la phase en entrée et sortie d'un disjoncteur.

Le contact du disjoncteur étant fermé (passant), le multimètre retourne 0V, car les deux points sont au même potentiel.

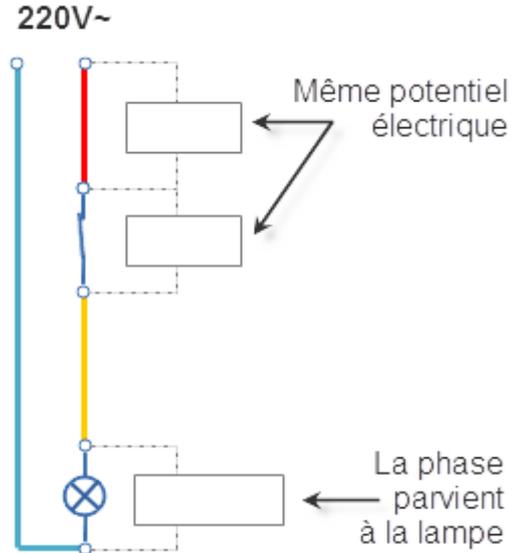
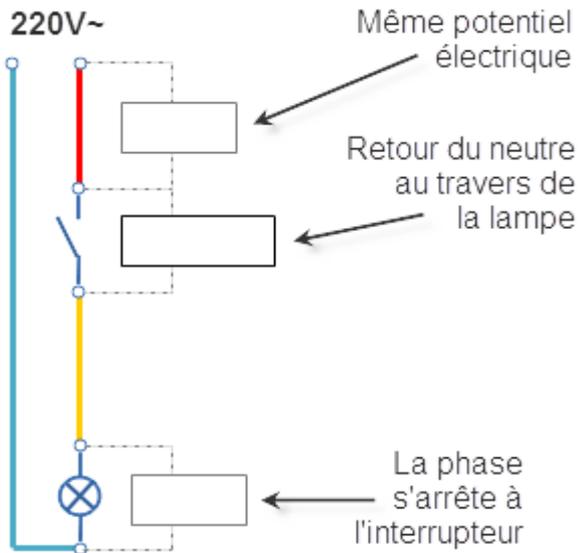
Voici ce que nous trouverions sur un circuit d'éclairage de type simple allumage, avec une lampe en partie basse et l'interrupteur au centre. Les pointillés indiquent d'où sont prises les mesures.

- ✓ Sur le **schéma de gauche** l'interrupteur est ouvert, empêchant la phase de regagner la lampe.

Le neutre parvient à l'interrupteur par l'intermédiaire de la lampe qui est conductrice, mais elle provoque une chute de la tension du fait de sa résistance interne. Nous trouvons alors une tension inférieure à la tension d'alimentation aux bornes de l'interrupteur lorsque celui-ci est ouvert.

Nous obtenons 0 V aux bornes de la lampe, la phase ne parvenant pas jusqu'à cette dernière. Nous avons le neutre d'un côté et rien de l'autre, soit deux potentiels nuls.

- ✓ Sur le **schéma de droite**, l'interrupteur est fermé et se comporte maintenant comme un simple fil conducteur. Les deux bornes de l'interrupteur sont au même potentiel électrique, soit 0V de différence de potentiel (tension). Nous obtenons 220V aux bornes de la lampe, avec la phase d'un côté et le neutre de l'autre.



À FAIRE

Identification des composants

Pouvez-vous identifier ces composants?

Transformateur 120VAC 9VDC 500 mA

10.24

20V

SPST

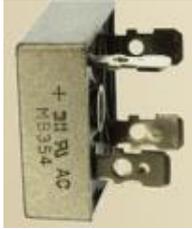
DPDT

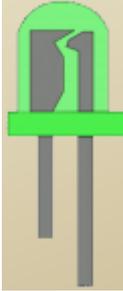
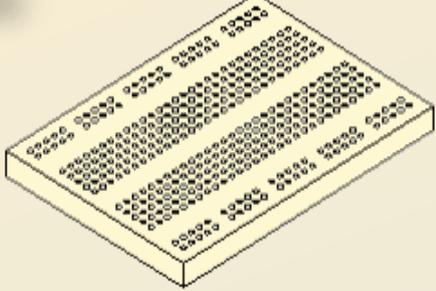
LM7805

385V330µF/16V NEG. +45°C

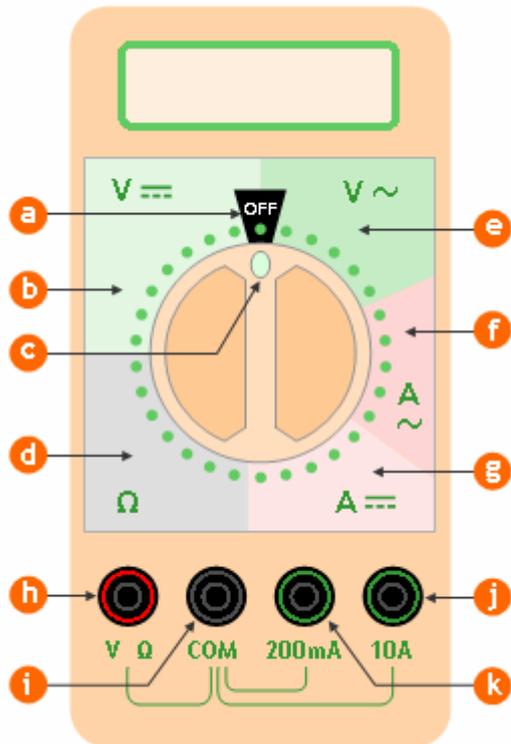
192 50M

+ 250 0V AC M5354

							
.....

				
.....

EXERCICES D'APPLICATION N°1

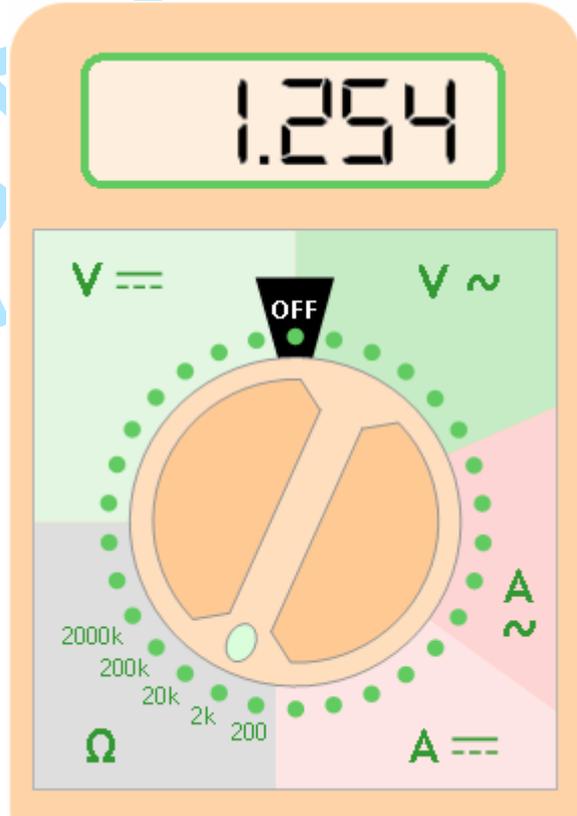
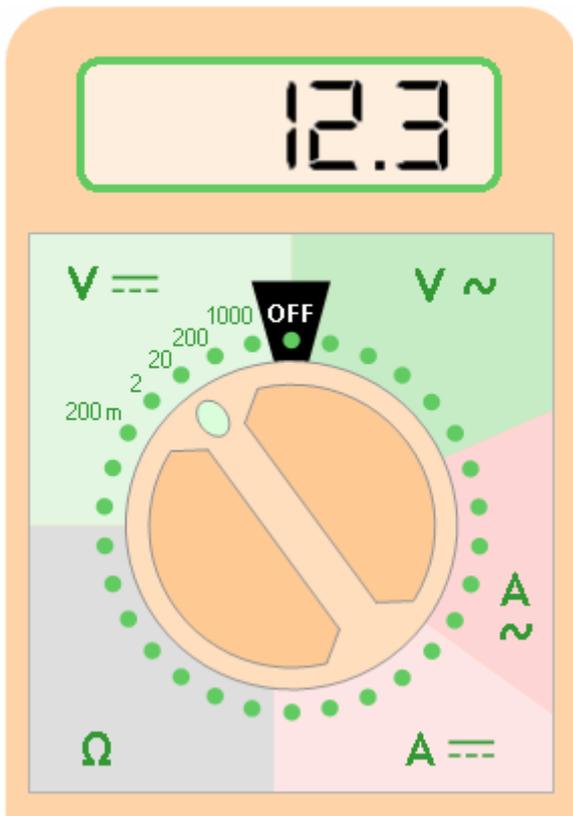
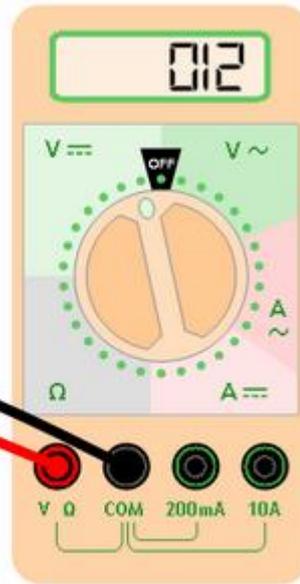
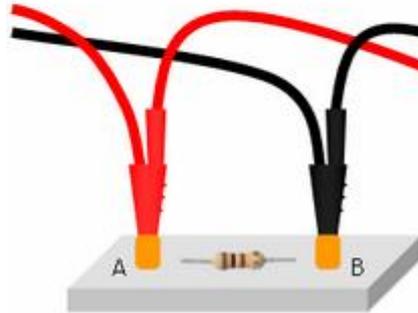


- Quelle lettre sur la photographie désigne le sélecteur de fonction ?
- Pour mesurer une tension "continu" dans quelle zone numérotée faut-il positionner le sélecteur ?
- Par quelle borne h, i, j ou k le courant doit-il entrer dans l'appareil ? Par quelle borne doit-il sortir ?



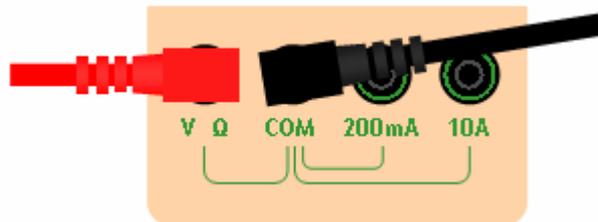
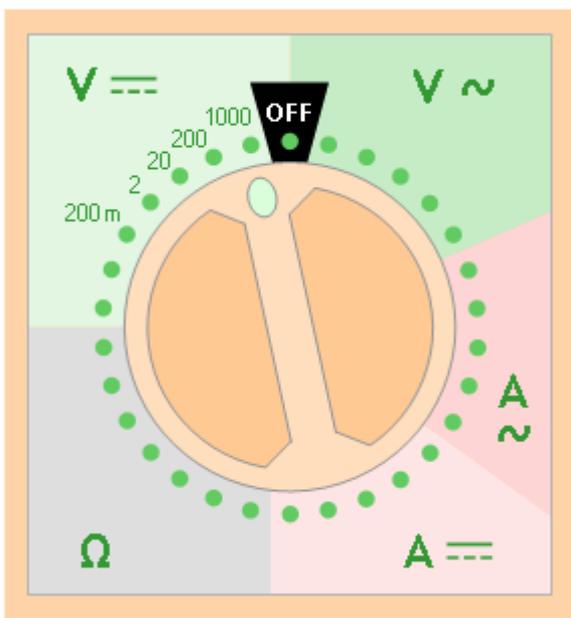
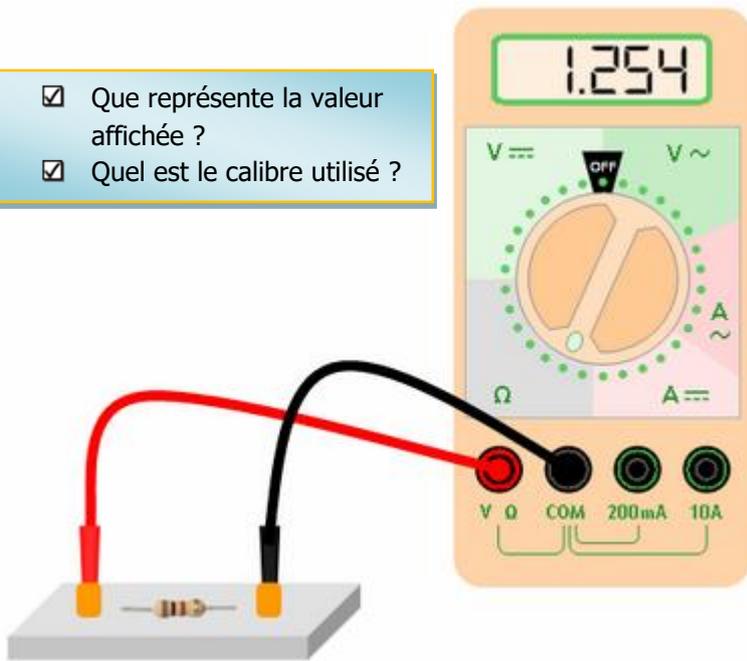
Que représente la valeur affichée ?

- Que représente la valeur affichée ?
- Quel est le calibre utilisé ?
- Quel est le calibre le mieux adapté pour cette mesure ?
- Le calibre est-il bien choisi ? Pourquoi ?



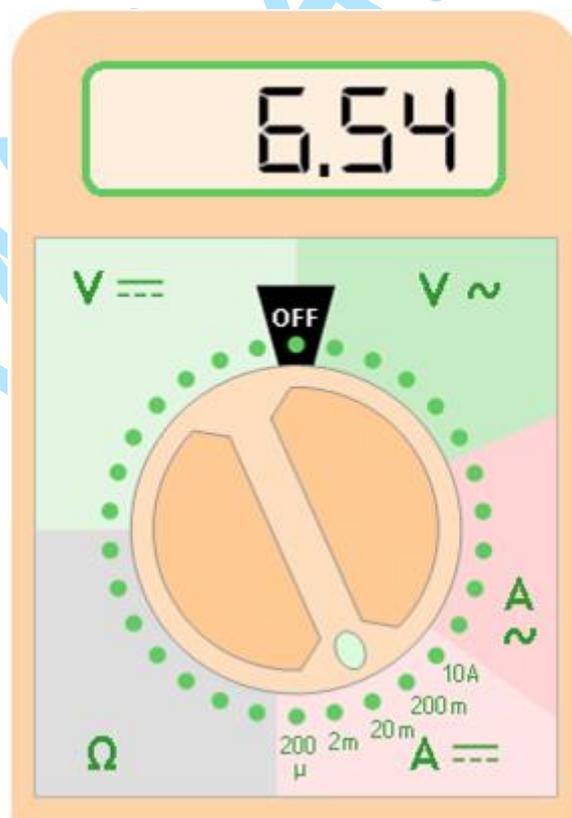
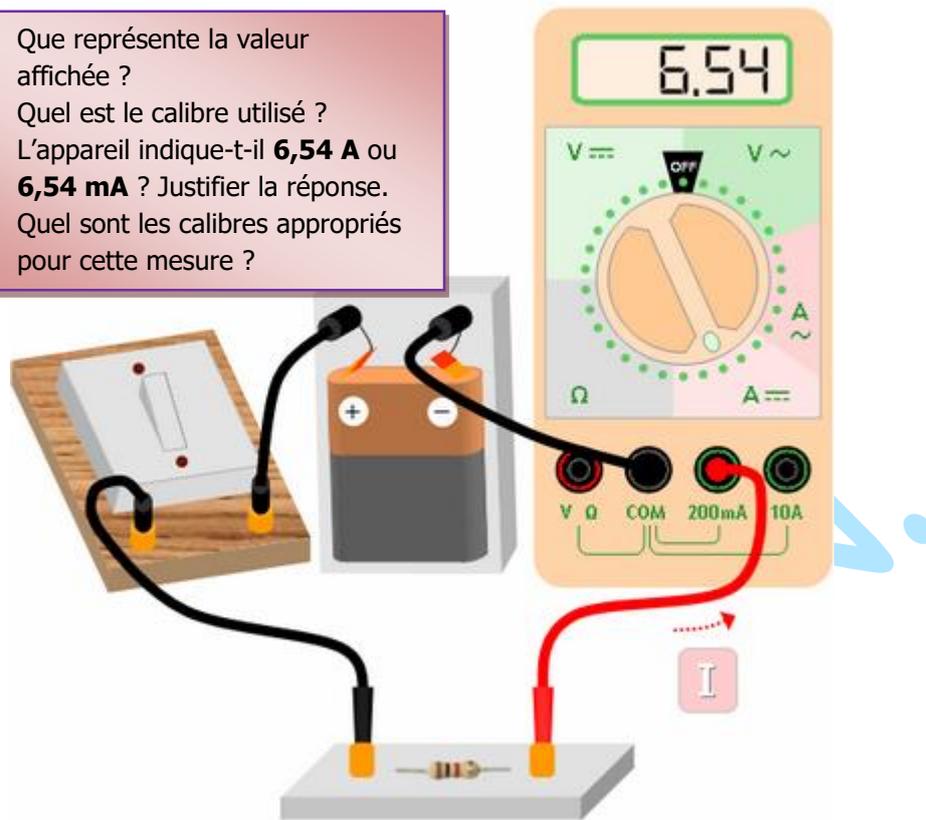
- Que signifie l'indication sur l'afficheur pour la cette mesure ?

- Que représente la valeur affichée ?
- Quel est le calibre utilisé ?



- Indiquer les fonctions du multimètre.
- Combien de bornes dispose le multimètre ?

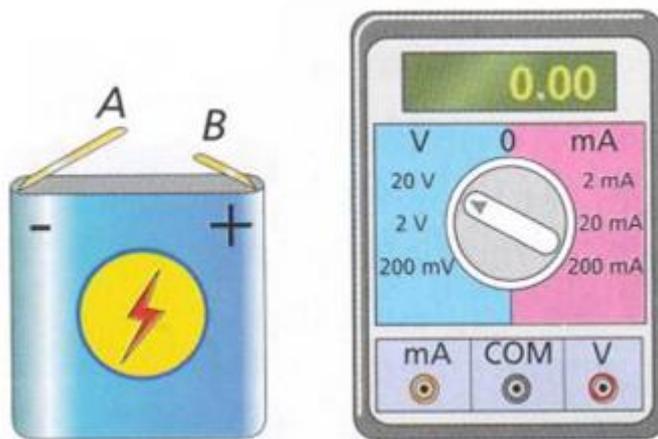
- ☑ Que représente la valeur affichée ?
- ☑ Quel est le calibre utilisé ?
- ☑ L'appareil indique-t-il **6,54 A** ou **6,54 mA** ? Justifier la réponse.
- ☑ Quel sont les calibres appropriés pour cette mesure ?



EXERCICES D'APPLICATION N°2

Soit une résistance de 5Ω connectée à une pile de 9 V ayant une résistance interne de $1,0 \Omega$.

1. Calculer la différence de potentiel aux bornes de la pile.
2. Supposons qu'on mesure cette différence de potentiel aux bornes de la pile au moyen d'un voltmètre de qualité ayant une résistance interne de $1 \text{ M}\Omega$. quelle valeur fournira-t-il ?
3. Quelle valeur lirait-on pour un voltmètre ayant une résistance interne de 10Ω ?



Le multimètre possède les calibres 20 V , 2 V et 200 mV .

- Que signifient ces trois indications ?
- Quels branchements doit-on faire pour mesurer correctement la tension entre les bornes de la pile.
- On désire mesurer la tension entre les bornes de la pile " 9 V ". Quel calibre faut-il choisir ?
- On désire mesurer la tension entre les bornes d'une pile " $4,5 \text{ V}$ " et une autre de " $1,5 \text{ V}$ ". Quel calibre faut-il choisir pour chaque pile ?

LE MULTIMÈTRE NUMÉRIQUE

2. TEST CONDENSATEURS TEST INDUCTANCES

8. TEST DE CONDENSATEURS

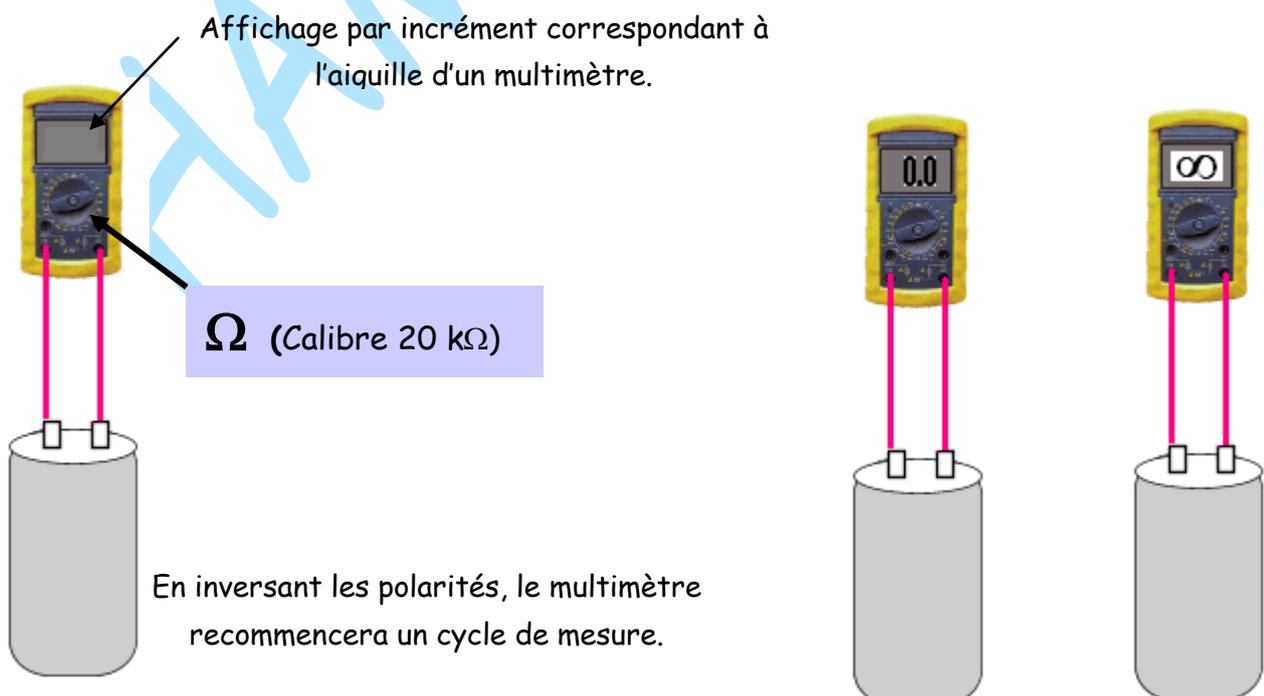
Un condensateur est constitué de deux plaques conductrices constituant l'armature. Ces plaques sont séparées par un isolant (papier, alumine, plastique, etc..). Quand un condensateur est soumis à un courant électrique, il accumule l'énergie électrique jusqu'à la limite de sa capacité pour ensuite se décharger de cette énergie.

Dans nos métiers on rencontre souvent les condensateurs permanents ou de démarrages, pour les compresseurs et les ventilateurs monophasés et il est important de savoir les vérifier. Un contrôle visuel peut déjà donner une indication sur la bonne santé du condensateur. Il ne doit pas être gonflé ni sur le dessus ni sur le côté. Par précaution avant toutes manipulations, il faudra décharger le condensateur en shuntant les bornes (voir dessin), si des étincelles apparaissent cela indique qu'apparemment le condensateur prend la charge.



8.1. TEST DE CHARGE

On teste avec un **multimètre** les incréments descendent vers le **zéro (0)** puis vont doucement vers l'**infini (∞)**, le courant qui traverse le condensateur est maintenant nul.



8.2. TEST DE CAPACITÉ PAR LA FONCTION OHMMÈTRE

Un condensateur peut, avec l'âge, perdre une partie de son pouvoir d'accumuler l'énergie. Un test de capacité peut être utile. Certains multimètres possèdent une fonction de mesure pour les condensateurs. La lecture se fait en directe. C'est très pratique!, mais ce n'est pas toujours le cas.

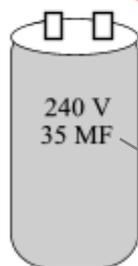
Avant de commencer le test d'une capacité, il faut la débrancher en court-circuitant ces deux (2) électrodes.

- ✚ On connecte le multimètre sur la plus grande gamme de mesure (... $M\Omega$), le multimètre indique une valeur faible (proche de zéro (0)) puis, il indique une valeur de plus en plus grande en fonction de la charge du condensateur à partir de la batterie de l'ohmmètre. Lorsque le condensateur est totalement chargé, l'ohmmètre indique une résistance très élevée.
- ✚ Pour des faibles valeurs des capacités (pF), la réponse de l'ohmmètre est insuffisante pour indiquer l'action de la charge du condensateur :
 - Si la capacité est court-circuitée, l'ohmmètre indique toujours une valeur faible (zéro : 0).
 - Si la capacité est défectueuse, l'ohmmètre indique valeur moins faible que celle de l'état normal.
- ✚ La plus part des condensateurs ont une résistance de quelques centaines de $M\Omega$, à l'exception des capacités électrolytiques dont la résistance est inférieure à $1 M\Omega$.
- ✚ Si la capacité est ouverte, l'ohmmètre indique toujours une valeur infinie (∞).

Test de capacité
220 volts



Attention, une manipulation sous tension comporte des risques, prendre les précautions d'usages.



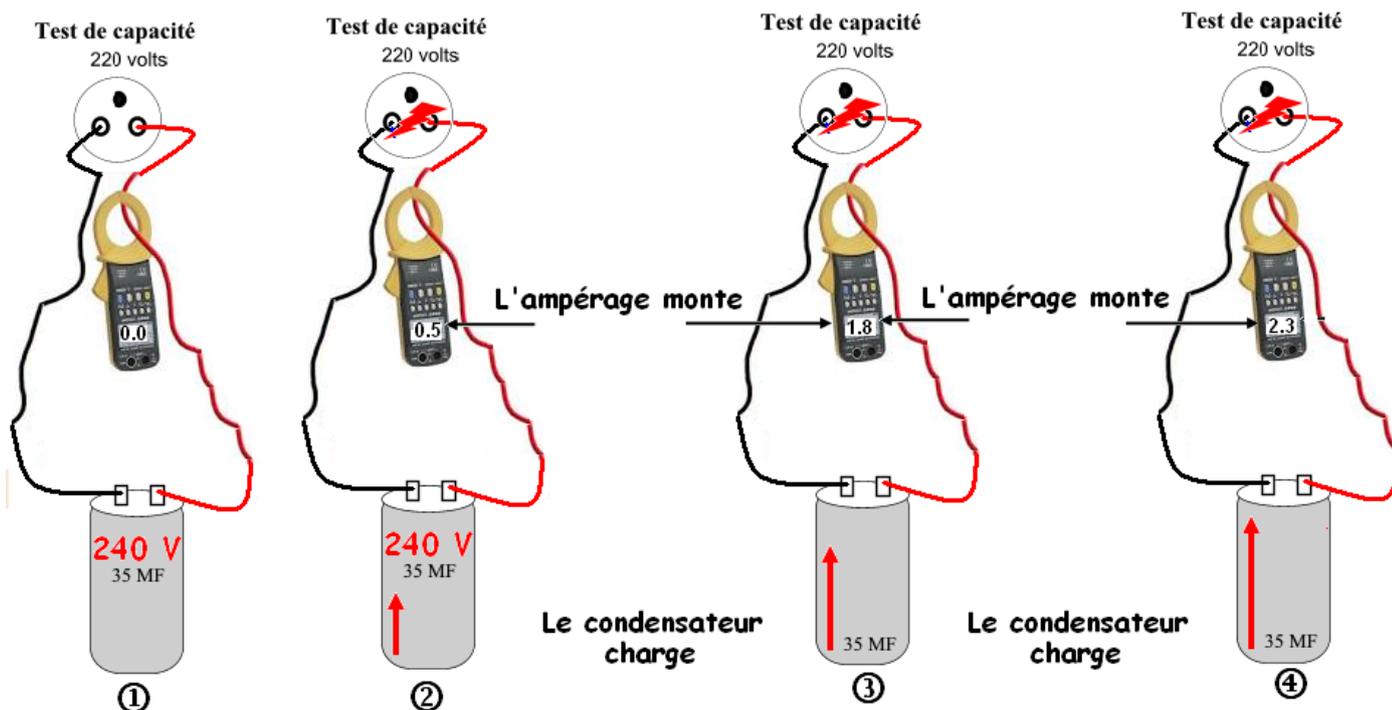
Test de capacité
220 volts



Mettre sous tension que quelques secondes en respectant la tension maximum indiquée.



35 μF



En 22/240V, il faut multiplier par 15 l'ampérage mesuré pour avoir une idée de la capacité d'un condensateur

8.3. UTILISATION D'UN CAPACIMÈTRE

Un capacimètre permet de mesurer la capacité d'un condensateur. Le capacimètre est souvent intégré sur un multimètre.

Pour mesurer la capacité d'un condensateur ou vérifier son état, on met le sélecteur sur la fonction capacimètre (sans oublier de choisir le calibre approprié). On met ensuite les pattes du condensateur dans les orifices prévus sur l'appareil : la capacité du condensateur s'affiche à l'écran.

- ✓ Si la valeur affichée est exacte avec ce qui est inscrite sur le condensateur, alors le condensateur est bon.
- ✓ Si on lit une valeur légèrement différente de celle inscrite sur le condensateur, on peut aussi supposer que le condensateur est bon ; compte tenu de l'incertitude.
- ✓ Si la valeur affichée est carrément différente de celle inscrite sur le condensateur ; soit le condensateur est mauvais, soit la valeur inscrite ne correspond à aucun calibre : donc vous avez fait une mauvaise mesure.



LECTURE DIRECTE

8.4. UTILISATION D'UN APPAREIL À DÉVIATION

L'appareil est mis en fonction ohmmètre pour vérifier seulement l'état d'un condensateur.

Remarque : *Un ohmmètre, que ça soit numérique ou à déviation se présente comme un générateur de tension (ou une pile). La borne + de ce générateur correspond à la borne négative (-) de l'appareil de mesure à déviation, et correspond à la borne + dans le cas d'un appareil numérique :*

a) Vérification d'état d'un condensateur polarisé

Les démarches suivantes sont à suivre :

- ✓ Choisir le calibre approprié ($\times 10\Omega$ pour les condensateurs de $470 \mu\text{F}$ à $2200 \mu\text{F}$ et $\times 1\text{K}\Omega$ pour les condensateurs de $330 \mu\text{F}$) ou un calibre pouvant provoquer une grande déviation de l'aiguille.
- ✓ Appliquer la borne (-) de l'appareil de mesure à la borne (+) du condensateur et le (+) de l'appareil à l'autre borne (le condensateur est normalement alimenté par le générateur de l'appareil).

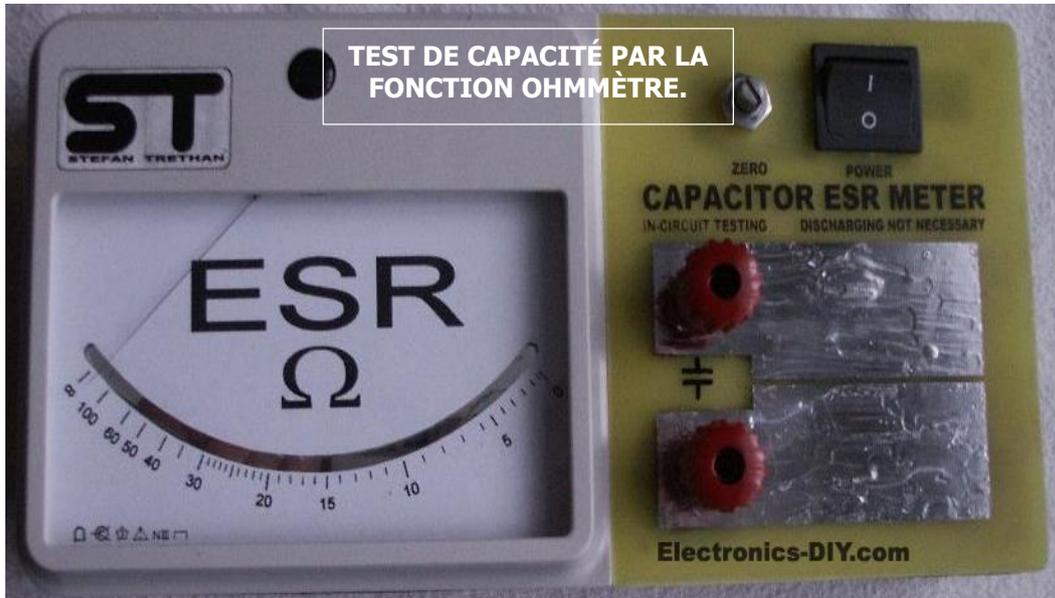
L'aiguille dévie vers 0 : c'est le début de la charge. Le condensateur se charge et l'aiguille dévie de 0 à ∞ . Après la charge, l'aiguille indique ∞ . On inverse les bornes du condensateur après les avoir court-circuité (ceci c'est juste pour décharger le condensateur). Le condensateur se charge de nouveau et l'aiguille dévie de 0 à ∞ . Sa position finale est toujours ∞ . Si on remarque dans les deux cas (cas direct et inverse), l'aiguille en position finale ∞ ; alors le condensateur est en bon état. Par contre, si l'aiguille indique une position différente de ∞ et très éloignée de cette dernière ; alors le condensateur est mauvais.

S'il arrive que l'aiguille dévie de 0 à ∞ et en arrivant à une position, elle retourne vers 0 alors le condensateur a une fuite de valeur (donc mauvais).

9. TEST D'UNE INDUCTANCE PAR LA FONCTION OHMMÈTRE

Pour tester une inductance, il faut la débrancher du circuit.

- Si l'ohmmètre indique une résistance infinie, l'inductance est en circuit ouvert,
- Si l'ohmmètre indique une faible résistance (**zéro : 0**), l'inductance est court-circuitée,
- Si l'ohmmètre indique une faible résistance (de **1 à quelques 100 Ω**), l'inductance est en bonne état.



LECTURE DIRECTE D'UN CONDENSATEUR



LECTURE DIRECTE D'UNE INDUCTANCE

LE MULTIMÈTRE NUMÉRIQUE

3. TEST DIODES

10. VÉRIFICATION D'UNE DIODE

10.1. VÉRIFICATION PAR MESURE DE SA RÉSISTANCE

Un **multimètre** peut être utilisé comme moyen simple et rapide pour vérifier une **diode**. On rappelle qu'une **diode** en bon état présente une résistance extrêmement élevée (circuit ouvert) en polarisation inverse et une très faible résistance en polarisation directe :

- ☑ Une **diode** défectueuse, qui devenue ouverte, indiquera une résistance élevée à la fois en polarisation directe et inverse.
- ☑ Une **diode** défectueuse, qui devenue court-circuitée, indiquera **zéro (0)** ou une faible résistance à la fois en polarisation directe et inverse.



COMMENT ?

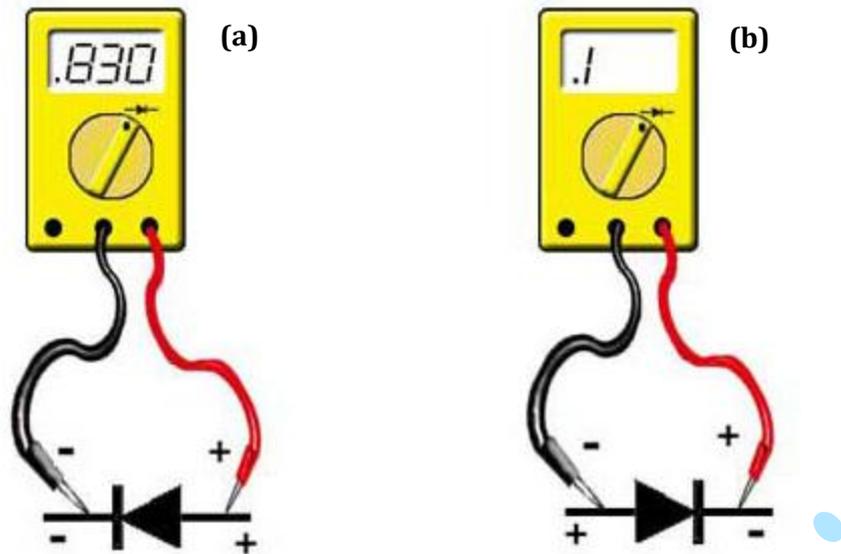
1. Choisir le symbole **diode** sur le **multimètre**.
2. Appliquer la pointe de test de la **borne positive** de l'ohmmètre sur l'**anode** de la **diode** et la **pointe** de test **négative (COM)** de l'ohmmètre sur la **cathode** de la **diode**.

L'ohmmètre doit indiquer une valeur inférieure à 1 (résistance faible en direct) : figure (a).

3. Appliquer la pointe de test de la **borne positive** de l'ohmmètre sur la **cathode** de la **diode** et la **pointe** de test **négative (COM)** de l'ohmmètre sur l'**anode** de la **diode**.

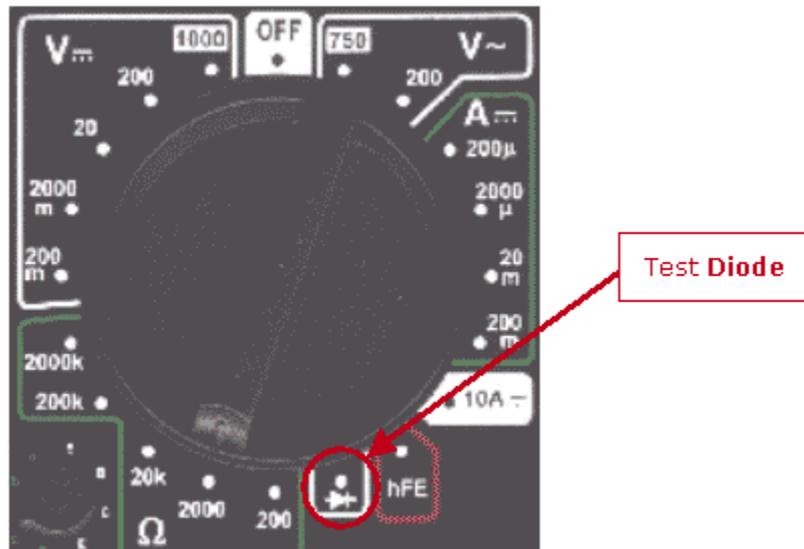
L'ohmmètre doit indiquer une valeur supérieure à 1 ou rien du tout (résistance très élevée en inverse) : figure (b).

- ☑ SI LES DEUX MESURES ÉFFECTUÉES CORRESPONDENT AUX ESSAIS EXPLIQUÉS CI-DESSUS, LA **DIODE** EST EN PARFAIT ETAT ET PEUT ÊTRE UTILISÉE DANS UN CIRCUIT.
- ☑ SI LES DEUX MESURES ÉFFECTUÉES NE CORRESPONDENT PAS AUX ESSAIS EXPLIQUÉS CI-DESSUS, LA **DIODE** EST DÉFECTUEUSE.



10.2. VÉRIFICATION PAR UTILISATION DE LA FONCTION " TEST DIODE "

Plusieurs **multimètres** numériques possèdent une fonction de **test de diode**, qui fournit un moyen pratique pour vérifier une **diode**.



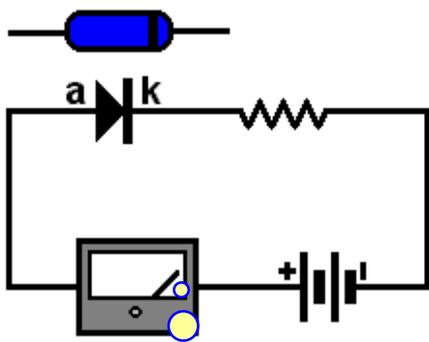
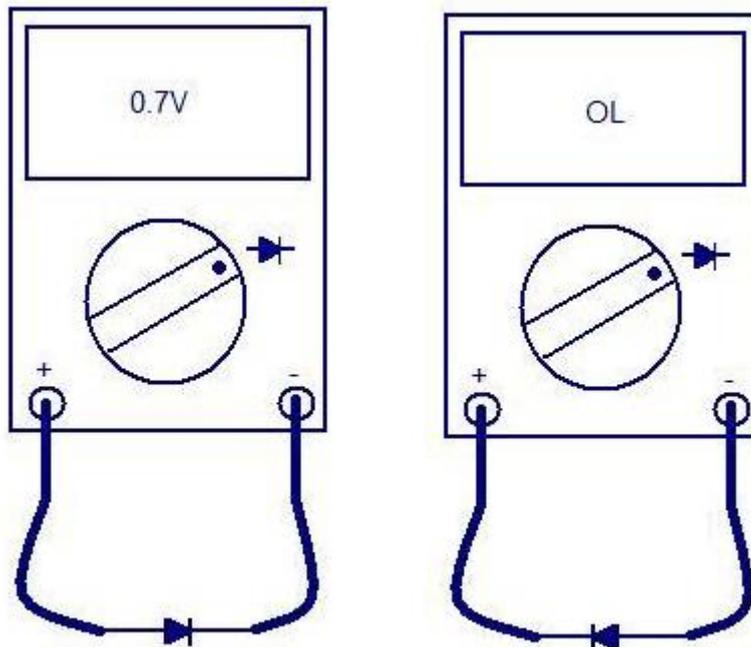
Un **multimètre** positionné sur la position **test de diode** (), fournit une tension suffisante pour une polarisation directe ou inverse sur une **diode**. Cette tension interne peut varier selon la marque du **multimètre**, bien qu'elle se situe typiquement entre **2,5 V** et **3,5 V**.

- Ⓢ Lorsque la diode est en bon état, le **multimètre** affiche une lecture entre **0,5 V** et **0,9 V** en sens direct (**anode (+)**, **cathode (COM)**) et une valeur entre **2,5 V** et **3,5 V** en sens inverse (**anode (COM)**, **cathode (+)**).

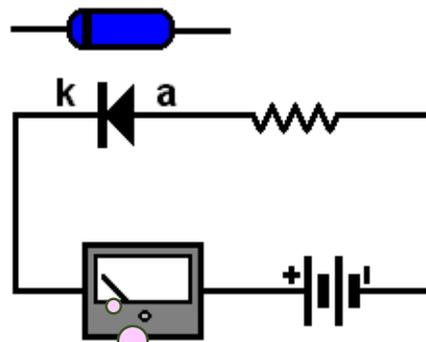
- Ⓢ Lorsque la diode est défectueuse, le **multimètre** affiche une lecture entre **2,5 V** et **3,5 V** dans les deux cas (sens direct et sens inverse) lorsqu'elle est ouverte et une tension de **0 V** lorsqu'elle court-circuitée.

Pour mesurer une **diode**, vous devez vous mettre en position **Test Diode**, laquelle est en général repéré avec le symbole d'une  **diode**. On place le + (**rouge**) du multimètre sur l'**anode** et le Commun (**noir**) sur la **cathode** (repérée par un trait blanc).

- Lorsque la **diode** est "**bonne**", le multimètre doit afficher la tension de seuil de la **diode** en **mV** (valeur entre **100** et **650**) et dans le sens inverse "**1111**" (**isolement**).
- Si la valeur affichée est inférieure à **200** (Germanium) ou **500** (silicium), la **diode** est vraisemblablement défectueuse (**court-circuit**).
- Si la valeur est toujours "**1111**", la diode est **coupée** donc la jonction détruite.



Contrôle de la diode dans le sens direct : le courant est maximum

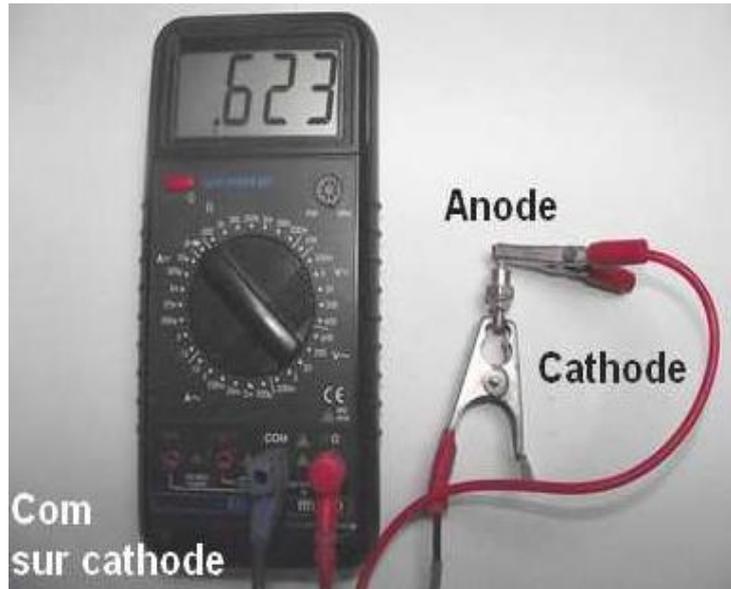


Contrôle dans le sens inverse : le courant est minimum



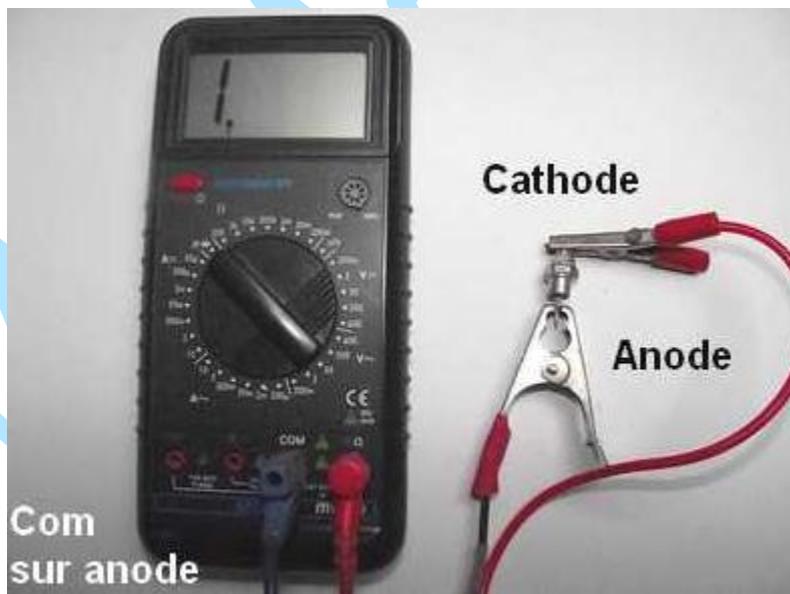
Position Test Diode

Multimètre en position **TEST DIODE**



Com sur cathode

Le multimètre donne une tension continue entre la borne **V/Ω** (+ la pile interne) et la borne **COM** (- de la pile interne). Le **COM** du multimètre est sur la **cathode**, l'afficheur indique le seuil de conduction de la diode **0,623 V** en directe (conduction directe : le + est sur l'**anode**).



Com sur anode

Le **COM** est sur l'**anode**, l'afficheur indique " 1 ". C'est à dire pas de conduction, résistance infini (Conduction indirecte : le + est sur la **cathode**).

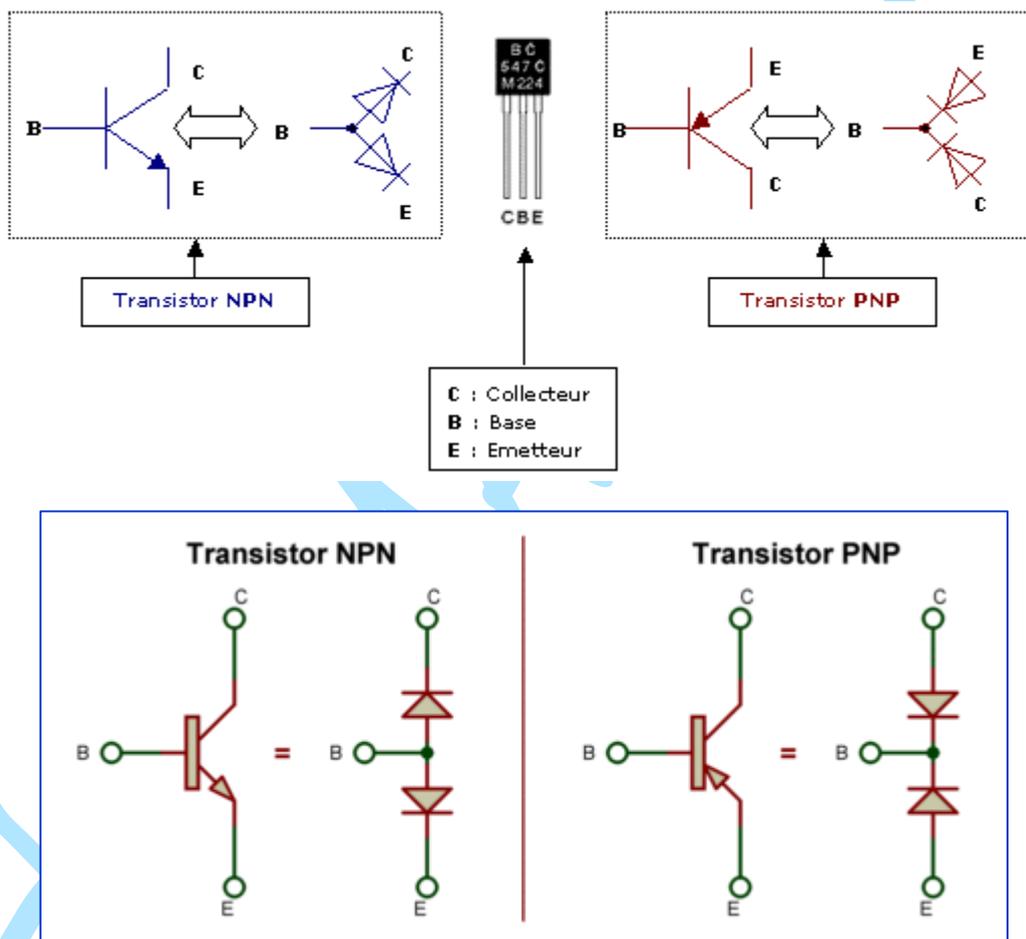
LE MULTIMÈTRE NUMÉRIQUE

4. TEST TRANSISTORS

11. VÉRIFICATION D'UN TRANSISTOR

Ce composant peut être modélisé par **deux diodes en opposition** (équivalent aux deux jonctions PN ou NP).

La représentation d'un transistor est la suivante :



Un **multimètre** peut être utilisé comme moyen simple et rapide pour vérifier un transistor, afin d'identifier une possible défaillance à jonction ouverte ou court-circuitée.

La jonction **B—C** est équivalente à une diode et de même pour la jonction **B—E** :

- ✓ En polarisation direct les deux jonctions devraient indiquer **0,7 V ± 0,2 V**.
- ✓ En polarisation inverse les deux jonctions devraient indiquer un **circuit ouvert**.

Pour le test avec un **multimètre** simple, on peut comparer un transistor ordinaire à deux diodes reliées ensemble. Il suffit de positionner un des fils du **multimètre** sur la base du transistor, et ensuite de mesurer avec les deux autres électrodes (émetteur et collecteur). Si le transistor est

du type NPN, le courant va passer quand le **fil rouge** du **multimètre** est sur la **base**, et que le **fil noir** est en contact avec l'**émetteur** et ensuite le **collecteur**. Si le transistor est du type PNP, ce sera l'inverse (**fil rouge** inversé avec le fil noir). Une dernière mesure entre **collecteur** et **émetteur** (dans les deux sens) devra montrer un courant nul dans les deux sens.

Deux tests principaux peuvent être effectués sur un **transistor**, lorsqu'on l'a isolé du montage : **mesure de gain** et **test de conduction**.

11.1. TEST DE CONDUCTION (VÉRIFICATION D'UN TRANSISTOR PAR LA FONCTION TEST DE DIODE)

La mesure de conduction consiste à considérer le **transistor** comme deux diodes montées tête-bêche, et à utiliser le mode Testeur de diode du **multimètre**.

Plusieurs **multimètres** numériques possèdent une fonction de test de diode, qui fournit un moyen pratique pour vérifier un transistor. Lorsqu'un **multimètre** est positionné sur la fonction test de diode, celui-ci fournit une tension interne suffisante pour une polarisation directe ou inverse sur la jonction du transistor. Cette tension peut varier selon la marque du **multimètre** bien qu'elle se situe typiquement entre **2,5 V** et **3,5 V**. Le **multimètre** fournit une lecture de tension ou une autre indication pour afficher la condition de la jonction lors du test.

Lorsque le transistor est en bon état :

- ☞ La borne (+) est connectée à la **base B** du transistor NPN et la borne (COM) est connectée à l'**émetteur E** du transistor, afin de fournir une polarisation directe de la jonction **B—E**, on obtient une lecture de **0,7 V ± 0,2 V**.
- ☞ Pour polariser en inverse la même jonction, il suffit d'inverser les bornes du **multimètre**, on obtient une lecture en fonction de la source interne du **multimètre**. La valeur typique est de **2,6 V**.
- ☞ La procédure doit ensuite être répétée pour la jonction **B—C**.
- ☞ Dans le cas d'un transistor PNP, il faut inverser la polarité des bornes du **multimètre** pour chacun des tests.

OU ENCORE :

- ✓ Mettre une pointe de touche sur la **base du transistor** (bien connaître son câblage), puis mettre l'autre pointe de touche sur les deux autres pattes (sur l'une d'abord puis sur l'autre ensuite, pas sur les deux en même temps). Le résultat de mesure doit être quasiment identique.
- ✓ Ensuite, inverser les pointes de touche, et réaliser les mêmes mesures. Si lors des deux premières mesures, vous aviez noté des chutes de tensions de **quelques centaines de millivolts (mode passant)**, aux deux mesures suivantes vous ne devez noter aucune chute de tension (**mode bloqué**).
- ✓ Attention, cette méthode est valable pour des transistors bipolaires classiques, elle ne l'est pas pour des FET (transistors à effet de champs) ou UJT (Uni-jonction).



Base – émetteur : **0.740 V**



Base – collecteur : **0.734V**



Collecteur – Emetteur : **rien d'affiché**

Lorsque le transistor est défectueux :

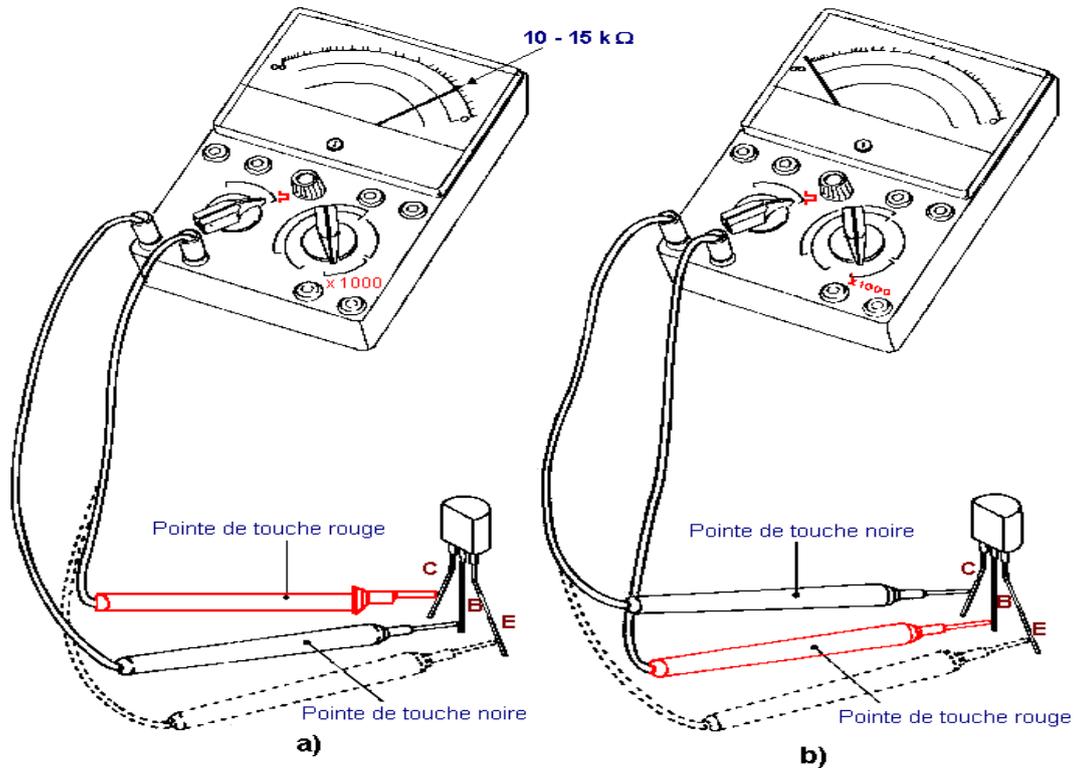
- ☛ Lorsque la jonction du transistor est ouverte, on obtient une tension de circuit ouvert (typiquement **2,6 V**) pour les deux conditions de polarisation (directe et inverse).
- ☛ Lorsque la jonction est court-circuitée, le **multimètre** indique **0 V** dans les deux tests de polarisation (directe et inverse).
- ☛ Parfois, une jonction défectueuse peut indiquer une faible résistance pour les deux conditions de polarisation plutôt qu'un court-circuit, dans ce cas le **multimètre** affichera une faible tension plus faible que la tension exacte en circuit ouvert (**1,1 V** par exemple).
- ☛ Certains **multimètres** sont soumis d'une prise réceptrice pour vérifier un transistor en fonction de sa valeur de β . En effet, si le transistor est mal inséré ou si l'une de ses jonctions est défectueuse, le **multimètre** indique **0** ou **1 clignotant**.
- ☛ Si le transistor est en bon état, le **multimètre** affiche une valeur qui correspond à β .

11.2. VÉRIFICATION D'UN TRANSISTOR AVEC LA FONCTION OHMMÈTRE

Si l'on désire vérifier les jonctions d'un transistor avec un **multimètre** dépourvu de la fonction du test de diode ou de prise réceptrice pour tester β du transistor, il faudra positionner le **multimètre** sur la fonction **OHMMÈTRE**.

- En **polarisation directe** de la jonction PN, si elle est en bon état, le **multimètre** donne une lecture de résistance (**quelques centaines d' Ω** à **quelques milliers d' Ω**) en fonction de la batterie interne du multimètre.

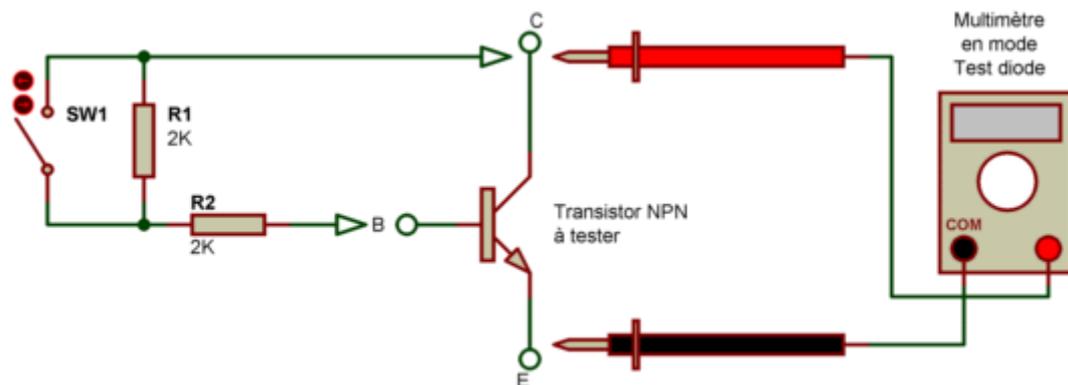
- En polarisation inverse de la jonction PN, si elle est en bon état, la lecture sera hors de portée sur la plupart des **multimètres**. Une indication de résistance hors de portée peut être indiquée par un " 1 " **clignotant** ou une série de tirets selon le modèle.



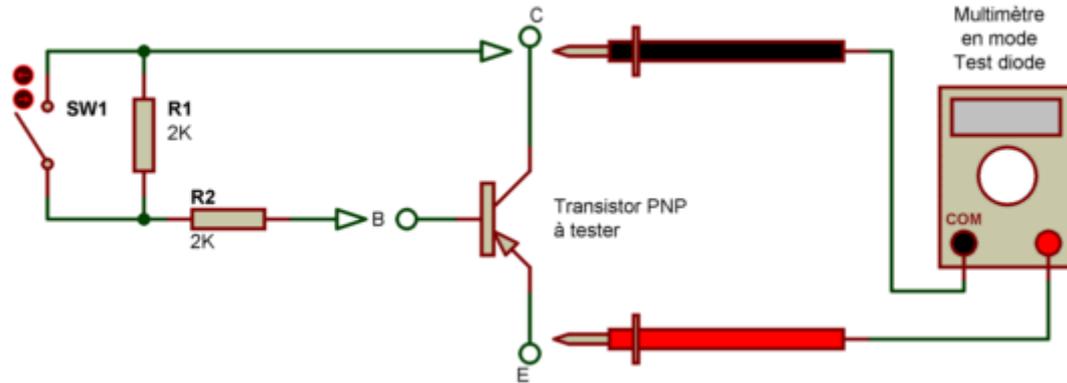
11.3. VÉRIFICATION D'UN TRANSISTOR AVEC LA MESURE DU GAIN (béta, hFE)

La mesure du gain nécessite la fonction appropriée sur le **multimètre** (fonction parfois appelée hFE) et le support intégré de **transistor** qui va avec. Cependant, vous pouvez vous faire une idée grossière du gain d'un transistor en utilisant la fonction test diode du multimètre, et en câblant le **transistor** comme suit :

- Si le transistor à tester est de type **NPN** :



- Si le transistor à tester est de type PNP :



MÉTHODE DE MESURE

1. Ouvrir SW1 et noter la valeur affichée Val1 (en V et jusqu'au troisième chiffre après la virgule) :
 - si une indication de surcharge est indiquée, inverser les pointes de touche.
 - si une indication de surcharge est indiquée quel que soit le sens des pointes de touches, le transistor est sûrement **défectueux**.
 - si la valeur affichée est inférieure à **0,2 V**, le transistor est sûrement **défectueux**.
2. Fermer SW1 et noter la valeur affichée Val2 (en V et jusqu'au troisième chiffre après la virgule) ;
3. Effectuer le calcul suivant : $2 / (Val_1 - Val_2)$

EXEMPLES DE MESURES SUR QUELQUES TRANSISTORS CLASSIQUES

Dans les lignes qui suivent :

Beta 1 = gain calculé avec la méthode précédente (mode test diode),

Beta 2 = gain mesuré avec la fonction de mesure du gain.

- ☛ BC108 : Val1 = 0.600 et Val2 = 0.588, Beta 1 = 166, Beta 2 = 148
- ☛ 2N2222 : Val1 = 0.576 et Val2 = 0.570, Beta 1 = 333, Beta 2 = 209
- ☛ 2N2907 : Val1 = 0.600 et Val2 = 0.583, Beta 1 = 117, Beta 2 = 113

Pour le deuxième transistor (2N2222), une plus grande différence est observée entre les deux mesures de gain, mais on en tire la conclusion que le gain est d'au moins 200.

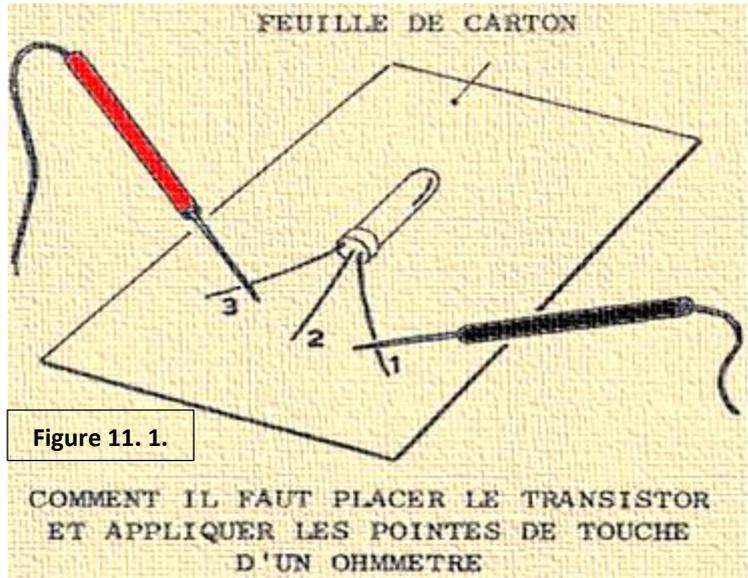
11.4. COMMENT IDENTIFIER LA SORTIE DE BASE D'UN TRANSISTOR

Entre émetteur, base et collecteur nous pouvons faire les combinaisons suivantes :

Mesurons la résistance directe et inverse de ces combinaisons afin de pouvoir identifier en premier lieu la **sortie de base**.

Voici comment on procède en pratique, en effectuant la mesure sur le **transistor** :

1. Disposez le **transistor** comme indiqué en figure ci-dessous,
2. Vous repérez les sorties en inscrivant sur le carton en face de chacune d'elle, les chiffres 1, 2 et 3 (**figure 11. 1**),
3. Mesurez avec l'ohmmètre en appliquant les pointes, les résistances directes et inverses de chacune des diodes formées par les sorties : **1-2 2-3 1-3**
Vous devez obtenir les valeurs suivantes :

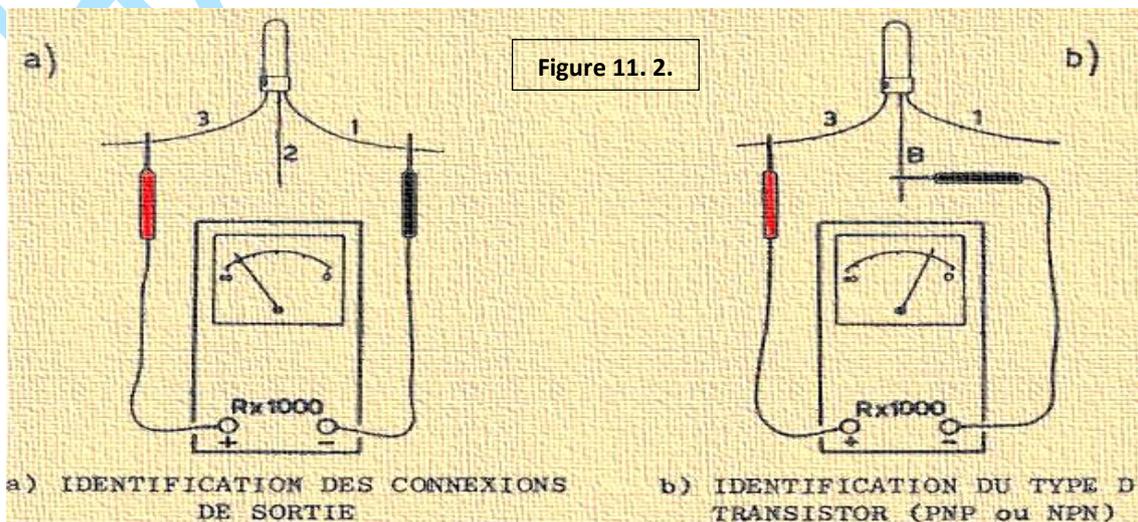


Résistances directes : En **1-2** : **250 à 350 Ω** ; En **2-3** : **250 à 350 Ω** ; En **1-3** : de **quelques kΩ** à environ **100 kΩ** suivant la température ambiante.

Résistances inverses : presque **infinie** pour chacune des trois combinaisons, (l'aiguille de l'instrument dévie légèrement de la position de repos).

4. Si vous avez trouvé que la résistance directe maximum (de **quelques kΩ** à environ **100 kΩ**) se trouve entre les sorties **1-3** (**figure 11. 2(a)**) ou bien entre les sorties **3-1**, la **sortie de base** est la **sortie 2**. Si vous aviez trouvé cette résistance directe maximum entre **1-2** ou encore entre **2-1**, la **sortie de base** aurait été la **3**.

Enfin, si le maximum de résistance directe avait été mesuré entre les **sorties 2-3** ou encore **3-2** la **base** aurait été la **sortie 1**.



11.5. COMMENT DÉTERMINER LE TYPE (PNP ou NPN) D'UN TRANSISTOR

Ayant découvert la **sortie de base** (sortie 2 de la **figure 11. 2(a)**) vous pouvez déterminer si le transistor est du type **PNP** ou du type **NPN**.

Pour cela, il vous suffit de raccorder la **pointe de touche négative** de l'ohmmètre à la **connexion de base** (B sur la **figure 11. 2(b)**) et la **pointe positive** à la connexion **1** ou **3**.

Si la résistance mesurée correspond à une résistance **DIRECTE** (**250 à 350Ω**) le transistor est du type **PNP**. Si inversement, la résistance mesurée correspond à une valeur de résistance **INVERSE**, le transistor est du type **NPN**.

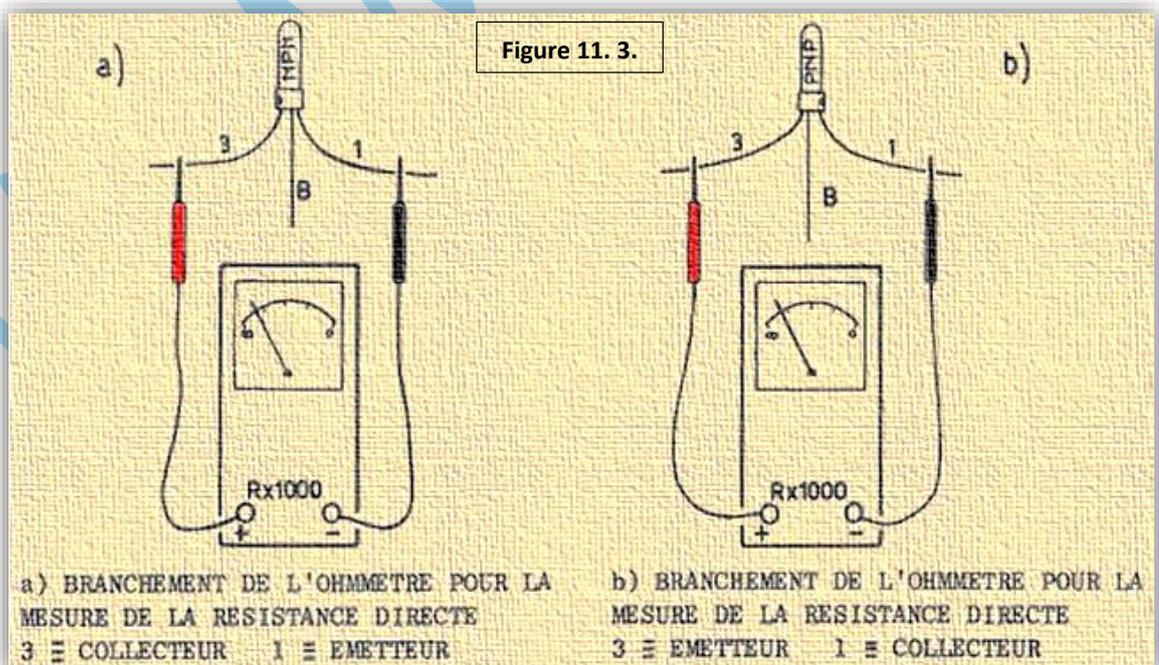
11.6. COMMENT IDENTIFIER LES CONNEXIONS DE COLLECTEUR ET D'EMETTEUR

Pour cette manipulation, Il convient de distinguer deux cas selon que l'on a affaire à un transistor **NPN** ou **PNP**.

1. Si le transistor est **PNP**, vous appliquerez les pointes de l'ohmmètre entre les **sorties 1** et **3** ou **3** et **1**, comme pour la mesure de la résistance directe entre collecteur et émetteur (valeur comprise entre **quelques kΩ** et **100 kΩ**) (**figure 11. 3(b)**).

Dans ces conditions la sortie connectée au **NÉGATIF** de l'ohmmètre est celle du **COLLECTEUR**, alors que celle connectée au **POSITIF** correspond à l'**ÉMETTEUR**.

2. Si le transistor est **NPN** vous connecterez toujours les pointes de touche de l'ohmmètre pour la mesure de la résistance directe (comme pour le type **PNP**), la sortie connectée au pôle **NÉGATIF** de l'ohmmètre correspond à l'**ÉMETTEUR**, de même que la sortie connectée au pôle **POSITIF** correspond au **COLLECTEUR** (**figure 11. 3(a)**).



11.7. COMMENT DÉTERMINER LES CARACTÉRISTIQUES D'UN TRANSISTOR ?

Une fois qu'on sait si c'est un **NPN** ou un **PNP**, on va se servir d'un **multimètre**, lequel possède des points d'insertion pour les pattes de transistor (**figure 11. 4**).

Sur le **multimètre**, il est prévu un appareil permettant de mesurer β (le gain en courant) : **figure 11. 5**. La mesure consiste à mettre le commutateur de calibre en position "**hFE**" et d'insérer convenablement chaque patte du transistor dans l'orifice de **B**, **C** et **E** prévu sur l'appareil (**figure 11. 6**). L'appareil affiche alors la valeur de β . Si non l'affichage indique **0** ; alors le transistor n'est pas en bon état. Au cas où une valeur est affichée, elle représente β et le transistor est bon.

Remarque : Pour cette mesure avec l'appareil numérique on doit initialement distinguer la base **B** et l'émetteur **E** du transistor. Une confusion de 2 pattes de transistor entraîne un mauvais affichage de l'appareil.

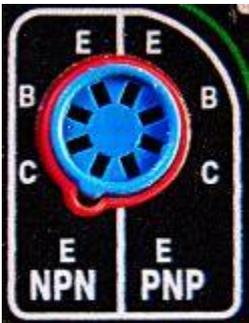


Figure 11. 4.



Figure 11. 5.

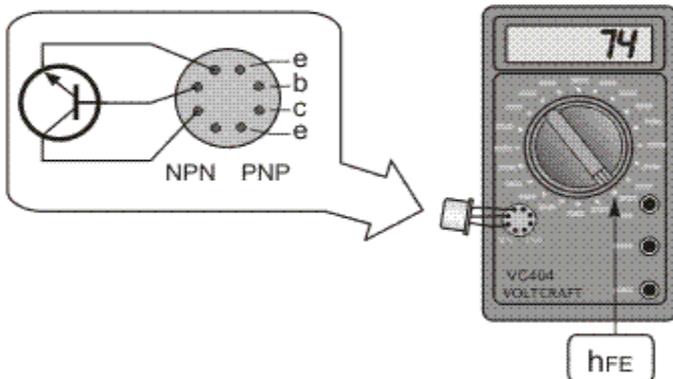
Le calibre à utiliser est hFE.



Multimètre numérique



Figure 11. 6.



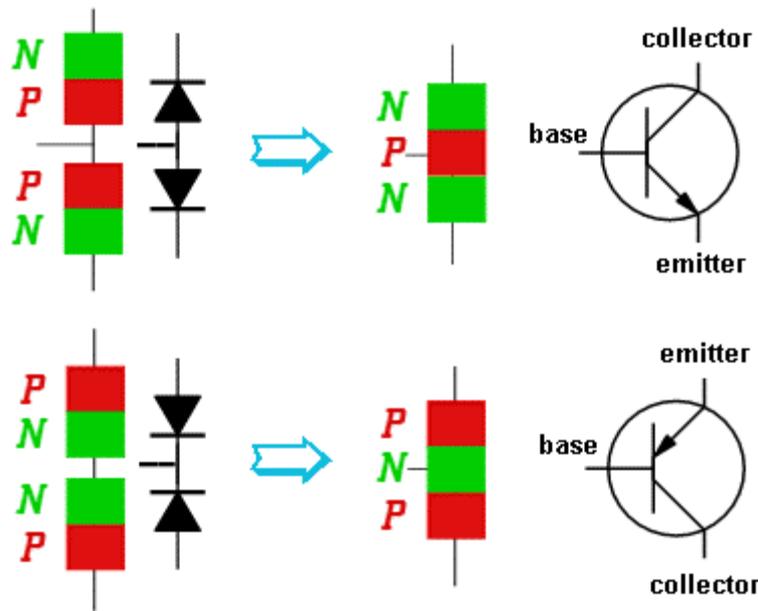
Il faut insérer les trois broches des transistors suivant deux paramètres :

- leur type : NPN ou PNP
- leurs pattes (émetteur-base-collecteur).

Si le cadran indique le signe "-", c'est que le choix des prises est mauvais.

La valeur du gain va de 0 à 1000.

BILAN



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

- Si on branche une source de tension entre les bornes **C** et **E**, le transistor ne laisse pas passer de courant (fig. 11. 7 (A)).
- Par contre, entre **B** et **E** il y a un court-circuit. Si on veut faire passer un courant précis entre **B** et **E**, il faut utiliser une source de tension et une résistance (fig. 11. 7 (B)).
- Si on envoie un courant de I_B ampères entre **B** et **E**, alors le transistor acceptera de laisser passer un courant de $I_C = \beta \cdot I_B$ ampères entre **C** et **E** (fig. 11. 7 (C)). Dans ce cas-ci, β vaut de l'ordre de **100**.

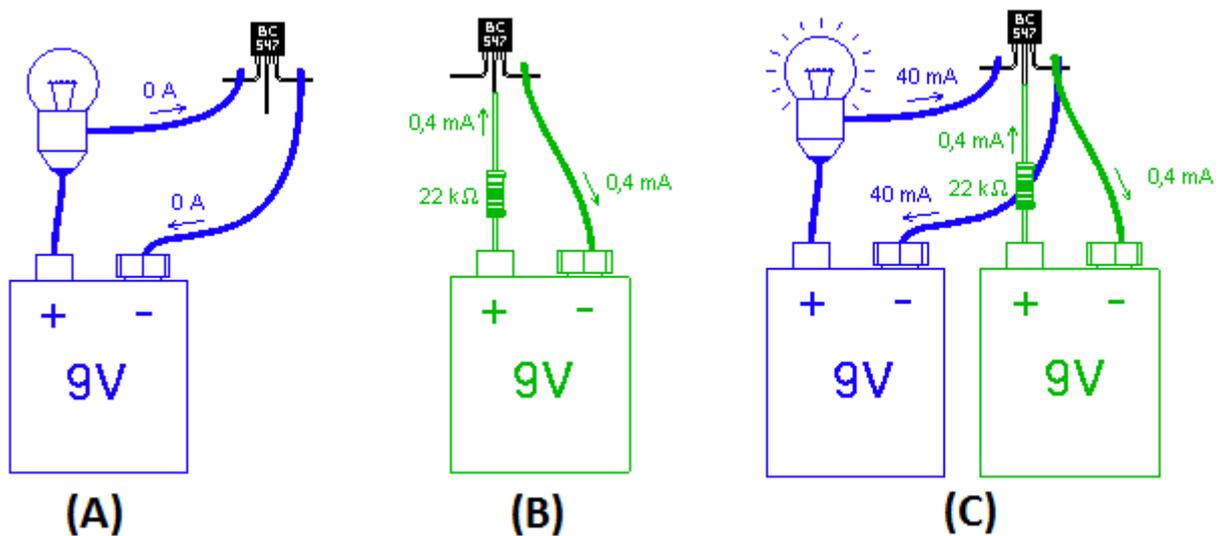


Figure 11. 7.



LA PINCE AMPÈREMÉTRIQUE

1. INTRODUCTION
2. FONCTION
3. COMMENT ÇA FONCTIONNE ?
4. CONDITIONS D'UTILISATION
5. UTILISATION
 - 5.1. EXEMPLE D'UTILISATION POUR LA MESURE D'UNE INTENSITÉ EN COURANT CONTINU
 - 5.2. PINCE AMPÈREMÉTRIQUE POUR LE COURANT ALTERNATIF
 - 5.3. PINCE AMPÈREMÉTRIQUE POUR LES COURANTS FAIBLES
6. PINCE MULTIFONCTIONS
 - 6.1. MESURE D'UNE TENSION ÉLECTRIQUE CONTINUE
 - 6.2. MESURE D'UNE INTENSITÉ ÉLECTRIQUE CONTINUE
 - 6.3. MESURE D'UNE PUISSANCE ÉLECTRIQUE CONTINUE

LA PINCE AMPÈREMÉTRIQUE

1. INTRODUCTION

Les **pinces ampèremétriques** sont destinées à étendre les capacités de mesure des multimètres, des appareils de mesure de puissance, oscilloscopes, enregistreurs.

2. FONCTION

Une **pince ampèremétrique** (figure 1) permet de mesurer l'intensité d'un courant débité dans un circuit sans avoir à déconnecter le circuit pour y insérer en série un ampèremètre.

Pour mesurer une intensité, il suffit de pincer le conducteur ou circule le courant. Elle peut combiner ou non les fonctions d'un multimètre numérique.

Elle permet de mesurer des lectures de courant sans interrompre le circuit simplement en encerclant le conducteur dans lequel passe le courant. Il suffit d'installer les **mâchoires autour du fil** pour connaître l'intensité du courant qui passe dans ce fil.

Ce type d'appareil ne peut mesurer le courant que dans un seul conducteur à la fois. On doit donc séparer les fils avant de prendre une mesure. Comme pour les autres types d'ampèremètre, il est recommandé de le placer à **l'échelle de lecture la plus grande** avant de prendre une mesure.

3. COMMENT ÇA FONCTIONNE ?

Une **pince ampèremétrique** est en fait un capteur à effet Hall, elle permet de capter les variations de courant dans un conducteur. En effet, tout conducteur parcouru par un courant émet un champ magnétique qui dépend de l'intensité. Cette pince permet de mesurer les courants sans même intervenir sur le conducteur (on parle bien du cuivre dans le fils, pas du fil en lui-même) tout en mesurant des courants élevés.

4. CONDITIONS D'UTILISATION

On ne peut pas utiliser une **pince ampèremétrique** pour mesurer sur une carte électronique, il faut un fil où le courant passe. On ne peut pas non plus mesurer le courant qui passe dans un câble d'alimentation alternatif (celui de notre PC par exemple) car si l'on pouvait mesurer une

Figure 1 : Pince ampèremétrique.



valeur de courant, cela voudrait dire qu'il y a un défaut puisqu'une partie du courant s'en irait quelque part. En effet, le courant entrant dans un appareil doit être égal au courant sortant. Pour un montage en continu, il ne faut pas que les fils d'arrivé (1) et de sortie (2) soit côte à côte (figure 2), là encore pour éviter ce phénomène d'annulation. La pince ampèremétrique oblige donc à n'intervenir que sur un seul conducteur à la fois (figure 3).

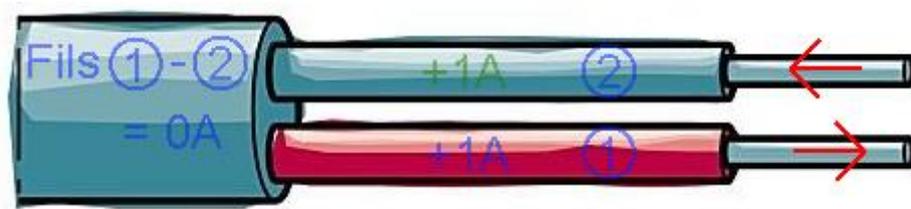
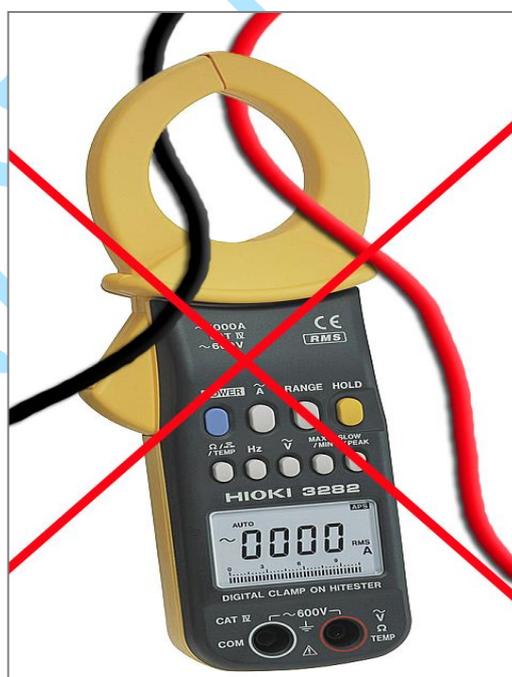


Figure 2



Il s'agit du **bon "branchement"**.

1 seul conducteur est dans la pince.



À ne pas faire.

Toutefois, il n'y absolument aucun danger à faire ça.

Figure 3

5. UTILISATION

a. EXEMPLE D'UTILISATION POUR LA MESURE D'UNE INTENSITÉ EN COURANT CONTINU

- Avec le sélecteur, choisissez la position " **Ampère** " avec le calibre la plus près de la mesure à effectuer (figure 4).
- Sélectionnez la position " **DC** " (mesure des courants continus).
- Étalonnez l'affichage de la pince (voir la notice d'utilisation).

- Pincez le conducteur en respectant le sens de circulation du courant (du " + " vers le " – ").
Sur la pince, une flèche indique son sens de mise en place (si ce n'est pas conforme, le signe "–" apparaît sur l'afficheur : **figure 5** et **6**).
- Faites débiter le circuit et effectuez la lecture sur le cadran de la pince.

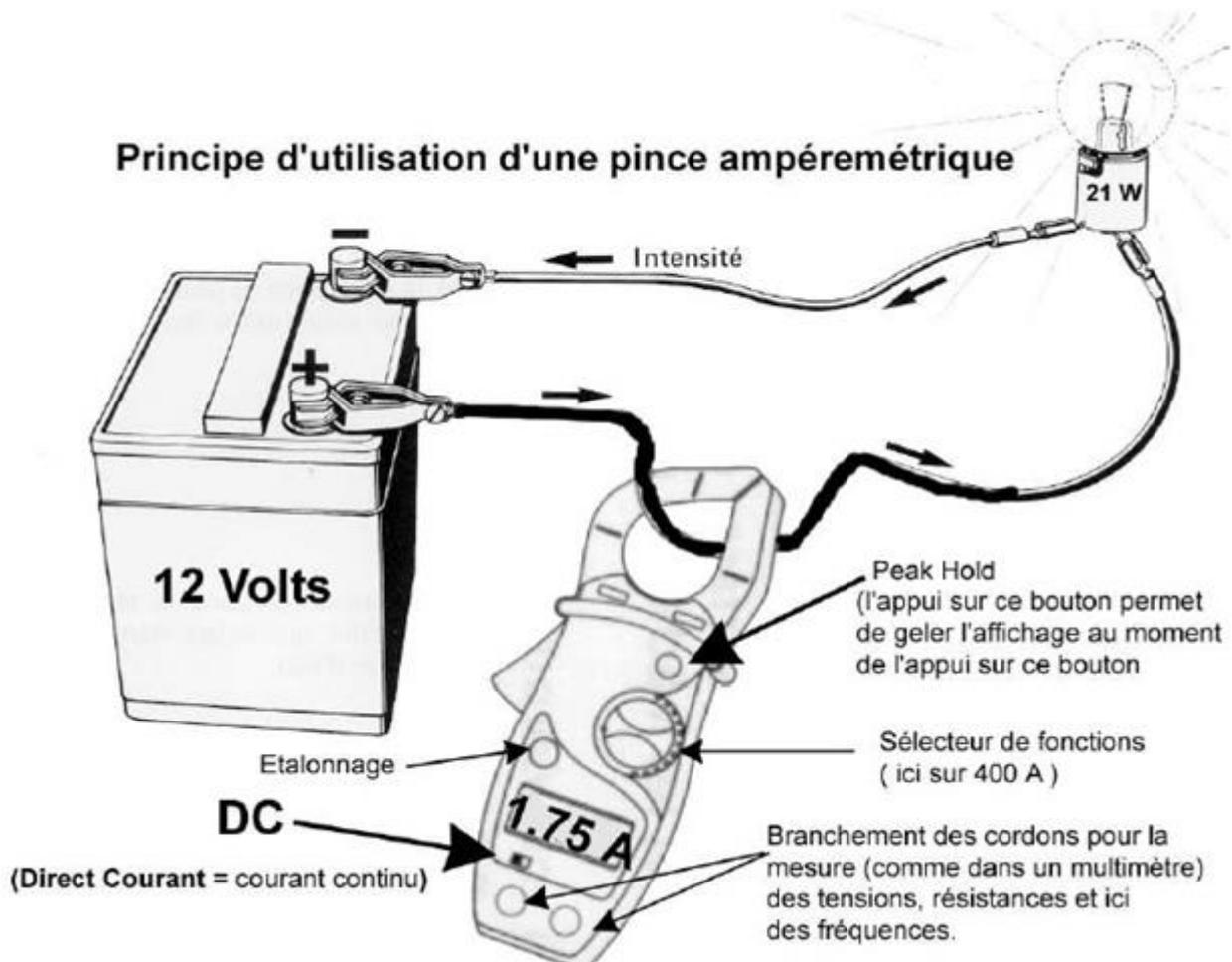


Figure 4 : Utilisation de la pince ampèremétrique dans sa fonction : AMPÈREMÈTRE.



Figure 5

EXEMPLE : Relevés de grandeurs autres que la tension en utilisant un oscilloscope : par exemple un courant

On doit utiliser une **pince ampèremétrique**. Elle possède une sensibilité exprimée en $\text{mV} \cdot \text{A}^{-1}$. Mesurer un courant sinusoïdal de **5A** en valeur efficace avec une pince de sensibilité $\mathbf{10\text{mV} \cdot \text{A}^{-1}}$.

1. Valeur crête : $I_P = I_{RMS} \times \sqrt{2} = \mathbf{7\ A}$
2. Calculer la valeur crête de l'image du courant : $\mathbf{7\text{A} \times 10\text{mV} \cdot \text{A}^{-1} = 70\ \text{mV}}$
3. À rentrer sur les quatre divisions supérieures de l'écran de l'oscilloscope :

$$\frac{70\ \text{mV}}{4\ \text{divisions}} = \mathbf{17,5\ \text{mV} \cdot \text{div}^{-1}}. \text{ On retient } \mathbf{20\ \text{mV} \cdot \text{div}^{-1}} \text{ (Sensibilité verticale).}$$



10 mV/A	→	100 A
1 mV/A	→	600 A

Figure 6

b. PINCE AMPÈREMÉTRIQUE POUR LE COURANT ALTERNATIF

Principe de fonctionnement

Les **pinces ampèremétriques** sont des transformateurs de courant d'un type particulier.

Un transformateur (**figure 7**) est constitué par deux (2) enroulements bobinés sur un circuit magnétique commun.

Lorsqu'un courant i_1 passe dans l'un des bobinages B_1 , il crée par le circuit magnétique commun, un courant i_2 dans le bobinage B_2 . Le nombre de tours des enroulements et les courants i_1 et i_2 sont liés par la relation : $N_1 \times i_1 = N_2 \times i_2$

Où N_1 et N_2 sont les nombres de tours de chaque enroulement.

On en déduit la relation suivante : $i_2 = i_1 \times \frac{N_1}{N_2}$ ou $i_1 = i_2 \times \frac{N_2}{N_1}$

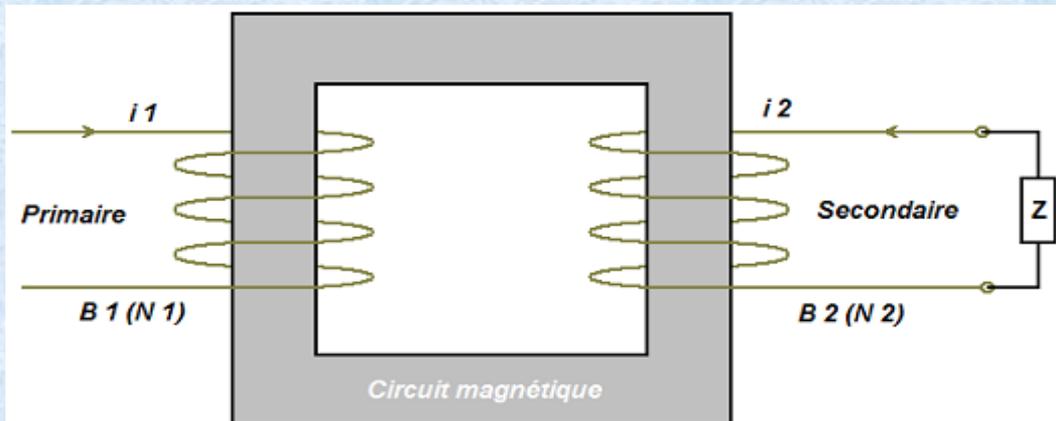


Figure 7 : transformateur.

Le même principe est appliqué à une pince ampèremétrique (**figure 8**).

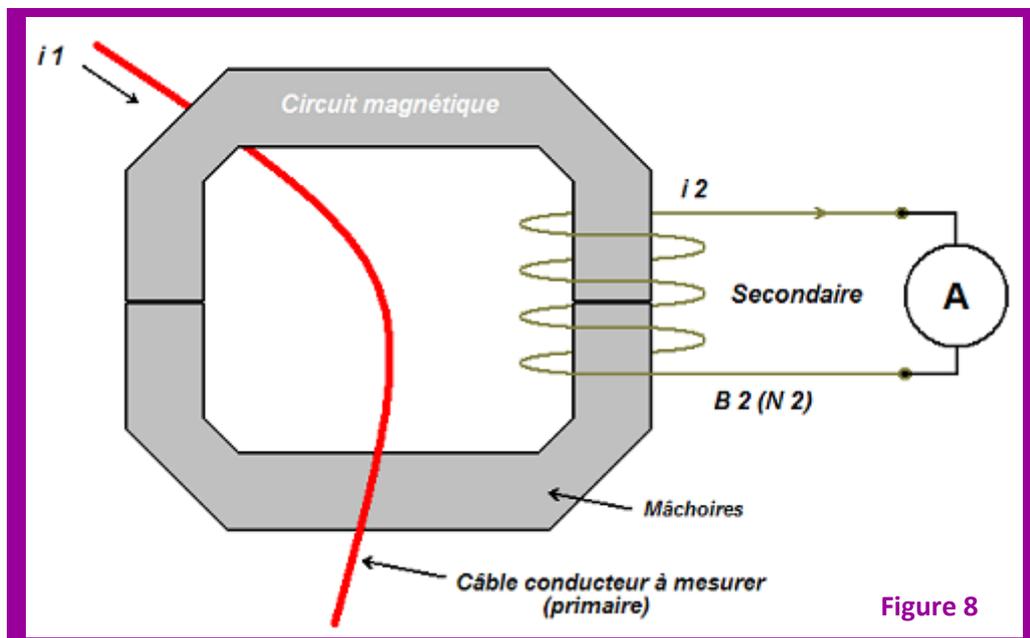
Les mâchoires de la **pince** contiennent le circuit magnétique commun et l'enroulement secondaire B_2 . Le conducteur, autour duquel est enroulée la **pince** constitue l'enroulement primaire B_1 (une large spire) traversé par le courant i_1 à mesurer. La **pince ampèremétrique** enroulée autour du conducteur fournit une mesure proportionnelle au nombre de spires dans son bobinage B_2 , ce qui donne :

$$i_2 \text{ (Courant dans la pince)} = i_1 \times \frac{N_1}{N_2}$$

Avec $N_1 = 1$ d'où
$$i_2 \text{ (Courant dans la pince)} = i_1 \times \frac{1}{N_2}$$

$$i_2 \text{ (Courant dans la pince)} = \frac{i_1}{N_2} \text{ (} N_2 \text{ est le nombre de tours du bobinage de la pince)}$$

Le nombre de tours dans le bobinage de la pince est généralement un nombre entier (ex. 100, 500, 1000). Si $N_2 = 1000$, alors on a un rapport de transformation de $\frac{N_1}{N_2}$ de $\frac{1}{1000}$ (c. à. d. 1 mA), plus communément écrit : 1:1000.



Une autre façon d'exprimer ce rapport de transformation et de dire que le signal de sortie de la pince est de **1 mA / A**. dans ce cas, le niveau de sortie de la pince est de **1 mA** (i_2) pour **1 A** dans le conducteur primaire à mesurer. Ou encore **1 A** pour **1000 A**, le rapport est le même, c'est la valeur à mesurer et la capacité de la pince qui diffèrent.

Il existe de nombreux autres rapports possibles : 500 :5, 2000 :2, 3000 :1, 3000 :5, ...pour des applications différentes.

La plupart des applications font appel à l'association d'une pince ampèremétrique et d'un multimètre numérique. Prenons un exemple où la pince a un rapport de transformation de **1000 :1** avec une sortie **1 mA / A**. ce rapport signifie que tout courant enserré dans les mâchoires deviendra en sortie :

CONDUCTEUR EN ENTRÉE	SORTIE DE LA PINCE
1000 A	1 A
750 A	750 mA
250 A	250 mA
10 A	10 mA

La sortie de la pince est raccordée à un multimètre, sur le calibre courant alternatif en accord avec le signal de sortie de la pince. Ensuite, pour déterminer le courant dans le conducteur, multiplier la valeur lue sur le multimètre par le rapport de transformation :

150 mA (lu sur le calibre **200 mA**) = **150 mA** × **1000** = **150 A** (dans le conducteur).

Ces **pinces** peuvent être utilisées avec tout appareil à entrée courant, pourvu qu'ils disposent d'une bonne impédance d'entrée (**figure 9**).

Les **pinces** peuvent aussi avoir des sorties en **tension alternatives** ou **continues** pour adapter les mesures courant aux appareils (oscilloscope, centrale d'acquisition, ...) qui ne disposent que des calibres en tension (**figure 10** et **figure 11**).

Cela s'effectue simplement en convertissant le courant de sortie en tension à l'intérieur de la pince. Dans ce cas-là, la sortie en **mV** de la **pince** est proportionnelle au courant mesuré (**1 mV AC / 1 A AC**).

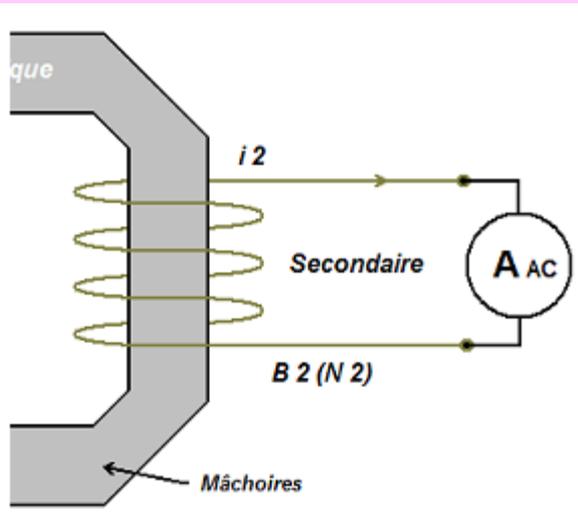


Figure 9 : PINCE A AC

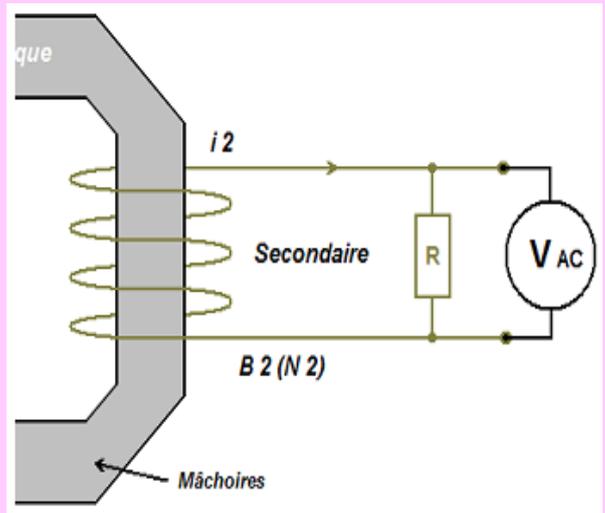


Figure 10 : PINCE V AC

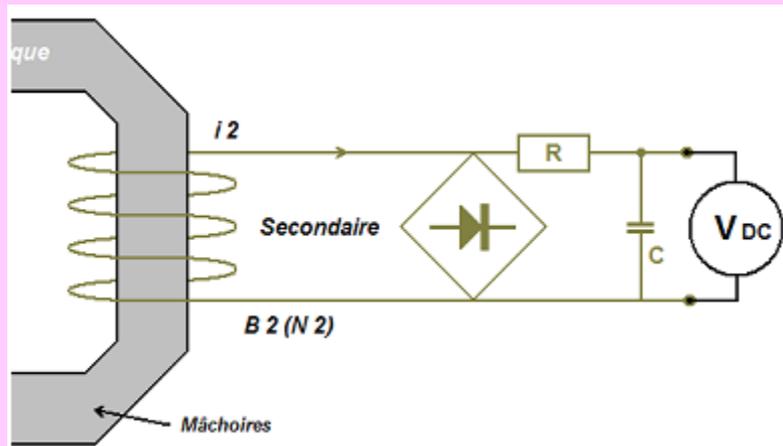


Figure 11 : PINCE V DC

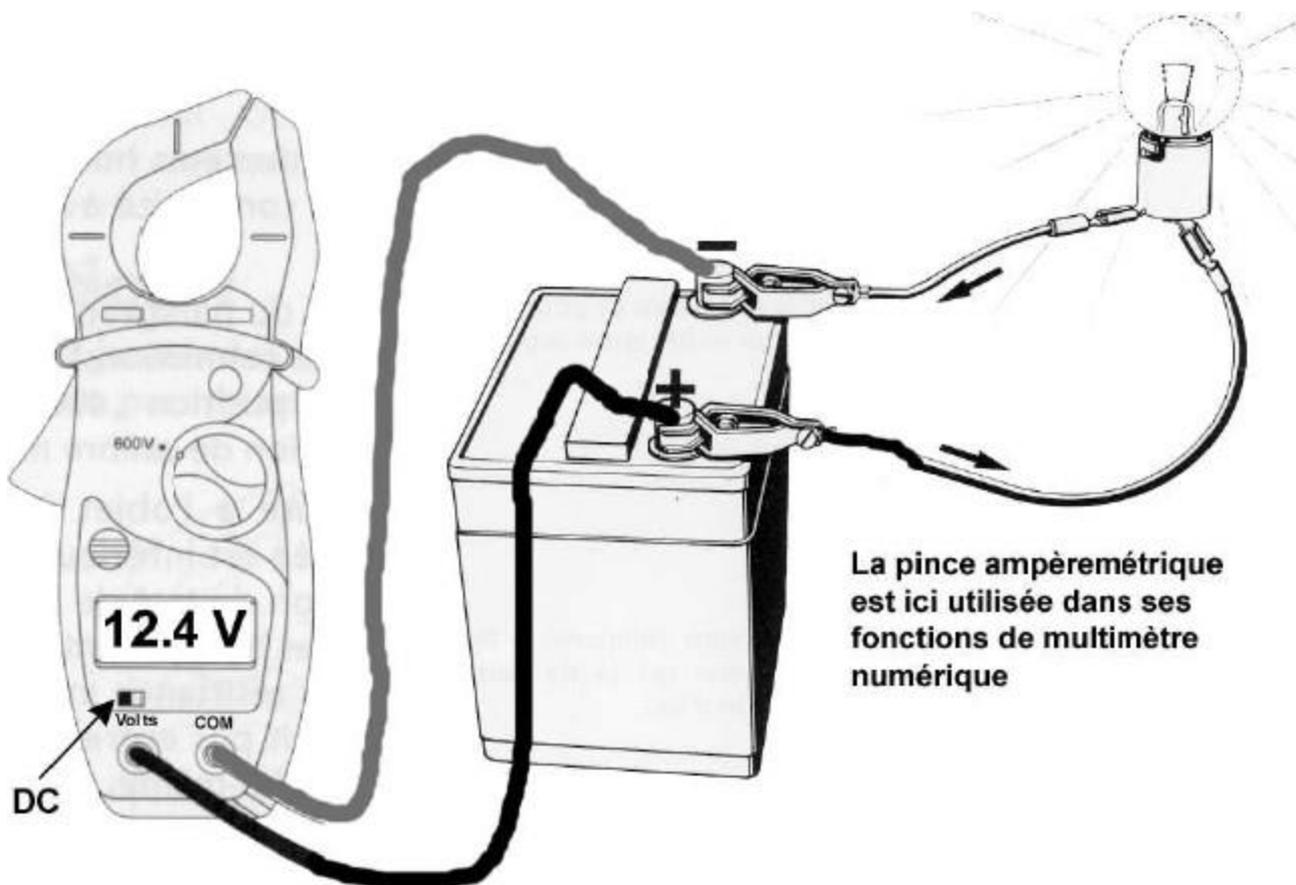


Figure 12 : Utilisation de la pince ampèremétrique dans sa fonction : VOLTMÈTRE.

C. PINCE AMPÈREMÉTRIQUE POUR LES COURANTS FAIBLES

Avec des **pinces** classiques, lorsque le courant est trop faible pour la sensibilité de la **pince** ou pour une meilleure précision, il y a toujours la possibilité d'insérer dans les mâchoires de la **pince** plusieurs tours de conducteur à tester (**figure 13**).

Dans ce cas, il convient de diviser la valeur lue par le nombre de tours du conducteur.

$$\text{COURANT RÉEL} = \frac{\text{VALEUR LUE}}{\text{NOMBRE DE TOURS CONDUCTEUR}}$$

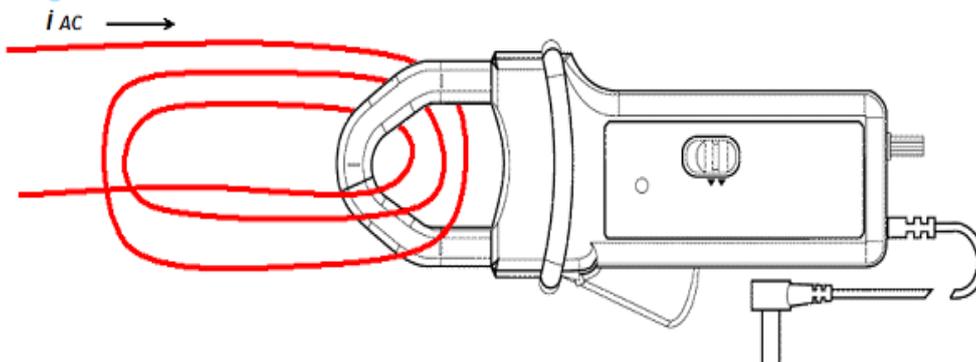


Figure 13

Dans cet exemple, si la valeur lue est de **150 A** et que le conducteur en test est inséré **3** fois dans les mâchoires :

$$i_{AC} = 150 \text{ A} / 3 \text{ t} = 50 \text{ A}$$

Pour mesurer des courants très faibles ou de fuite, il est nécessaire de s'équiper d'une pince spéciale (ex. pince de courant de fuite) comportant de nombreux tours de fils sur son secondaire B_2 .

Deux (2) méthodes de mesure sont possibles :

1. En monophasé, enserrer la pince autour des deux (2) câbles représentant l'aller et le retour (i) de l'alimentation (figure 14 - mesure 1). En principe les courants dans les deux câbles doivent être de valeurs identiques mais de polarité inverse. La valeur lue est par conséquent NULLE ($i = 0$). Si cette valeur n'est pas nulle, c'est qu'un courant parasite (i_F) a été généré par la charge. C'est un courant de fuite.
2. L'autre méthode consiste à effectuer une mesure de courant dans la terre de la charge (figure 14 - mesure 2). En principe aucun courant ne doit être détecté dans cette terre. Si c'est le cas, c'est que la charge a généré un courant parasite (i_F) et qu'elle présente un défaut d'isolement.

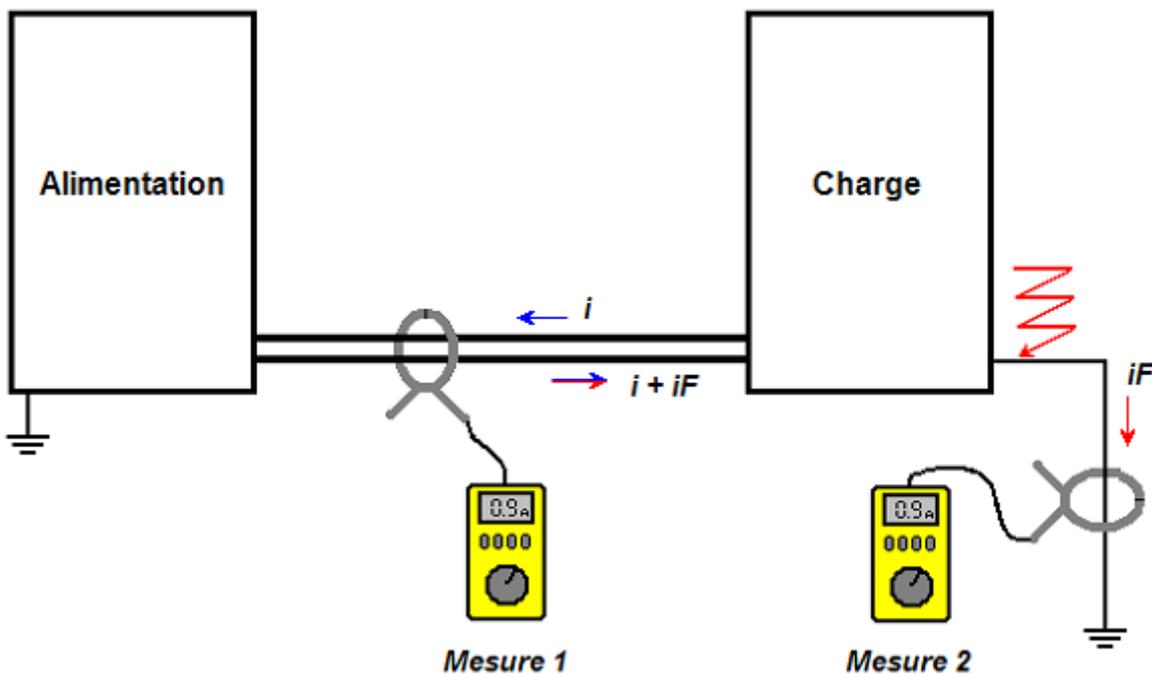


Figure 14

TESTEUR DE COURANT DE FUITE





Les courants de fuite apparaissent quand le courant coule à travers des conduits électriques qui normalement ne sont pas faits pour la conduction de courant.

6. PINCE MULTIFONCTIONS

La **pince multifonctions** est un appareil de mesure qui regroupe plusieurs appareils. L'utilisation principale d'une **pince multifonctions** c'est la **pince ampèremétrique**, c'est-à-dire la possibilité de mesurer une intensité sans avoir à ouvrir le circuit.

La **pince multifonctions** permet aussi la mesure des tensions et des puissances en courant continu ou en courant alternatif.

Comme pour le multimètre, les fonctions sont choisies avec un sélecteur.

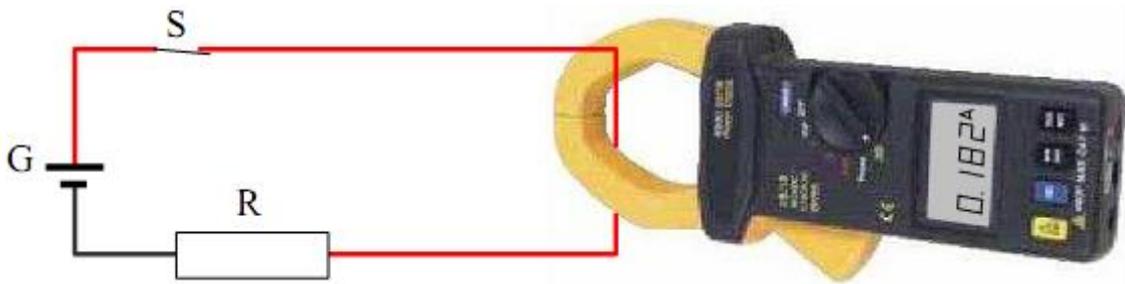
6.1. MESURE D'UNE TENSION ÉLECTRIQUE CONTINUE

Pour mesurer la tension continue aux bornes du récepteur R, positionner le sélecteur sur la fonction **Voltmètre, V** : et brancher les deux (2) pointes de touches aux bornes du récepteur :



6.2. MESURE D'UNE INTENSITÉ ÉLECTRIQUE CONTINUE

Pour mesurer l'intensité du courant continu dans un récepteur R, positionner le sélecteur sur la fonction **Ampèremètre, A** : et enlacer le fils alimentant le récepteur avec la **pince** :



6.3. MESURE D'UNE PUISSANCE ÉLECTRIQUE CONTINUE

Pour mesurer la puissance électrique continue du récepteur R, positionner le sélecteur sur la fonction **Wattmètre, kW** ; brancher les deux (2) pointes de touches aux bornes du récepteur pour avoir la tension et, enlancer le fils alimentant le récepteur avec la **pince** pour avoir le courant : la **pince** détermine la puissance consommée par le récepteur.



Pince ampèremétrique dans leurs domaines d'utilisation.



Pince ampèremétrique vérifiant le courant consommé durant une phase.



Pince ampèremétrique vérifiant le courant consommé durant un raccord.



MÂCHOIRE DE LA PINCE. LE FIL EST ENLACÉ DANS LA PINCE.

TOUCHE DE MAINTIEN POUR GARDER LA MESURE AFFICHÉE SUR L'ECRAN.

GÂCHETTE PERMETTANT D'OUVRIR LA PINCE.

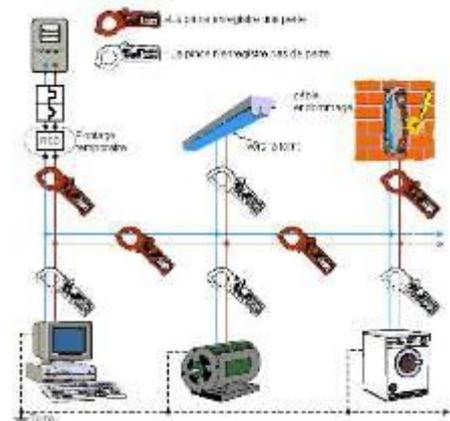
AFFICHAGE LCD : AFFICHAGE DE LA FONCTION, DE LA VALEUR DE LA MESURE ET DE L'UNITÉ.

BORNES DE MESURES.

PINCE AMPÈREMÉTRIQUE POUR LA MESURE DE LA PUISSANCE (1 PHASE)

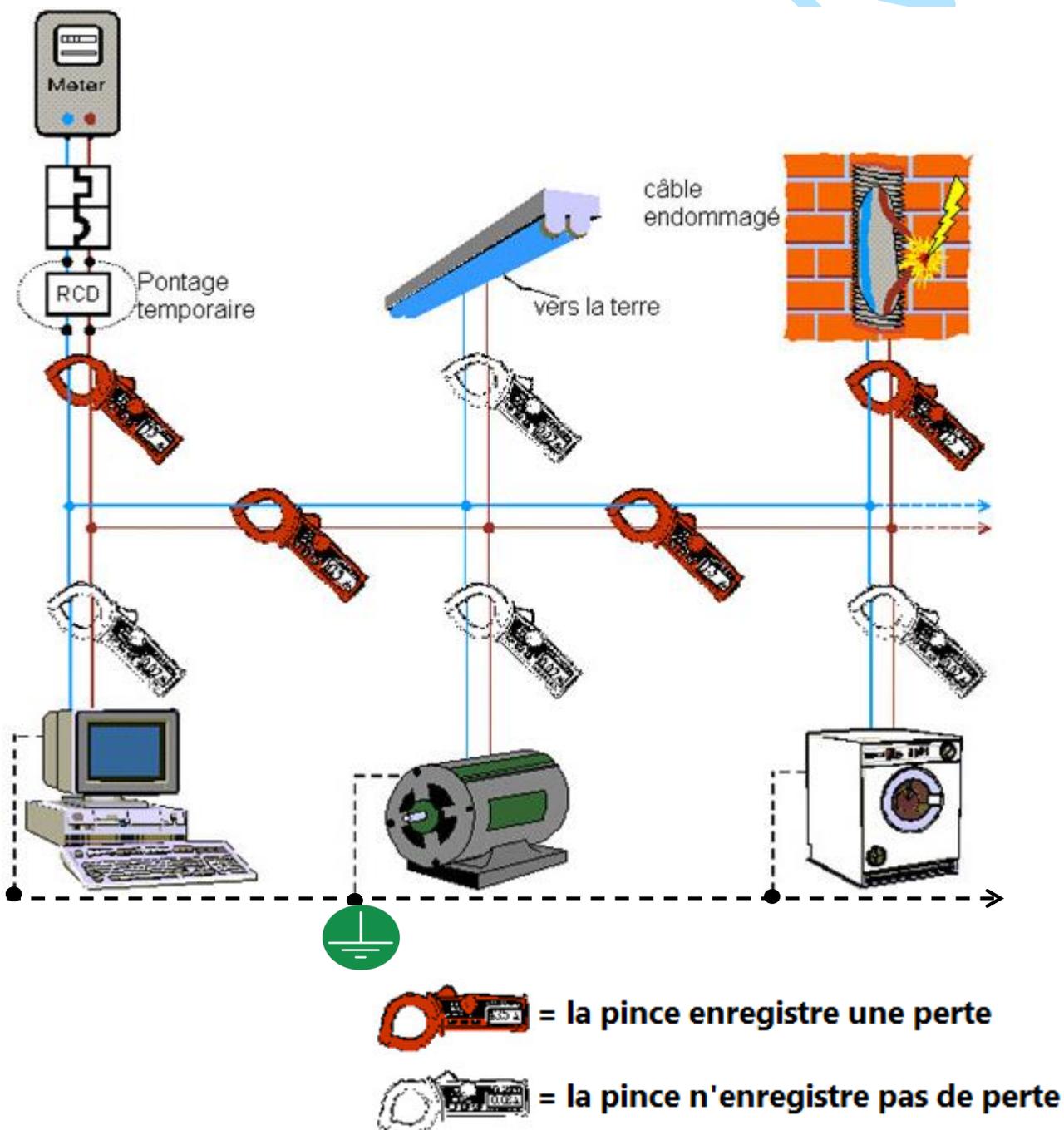


PINCE AMPÈREMÉTRIQUE POUR LA MESURE DE LA PUISSANCE (3 PHASES)



COMMENT UTILISER LES PINCES DE COURANT DE FUITE

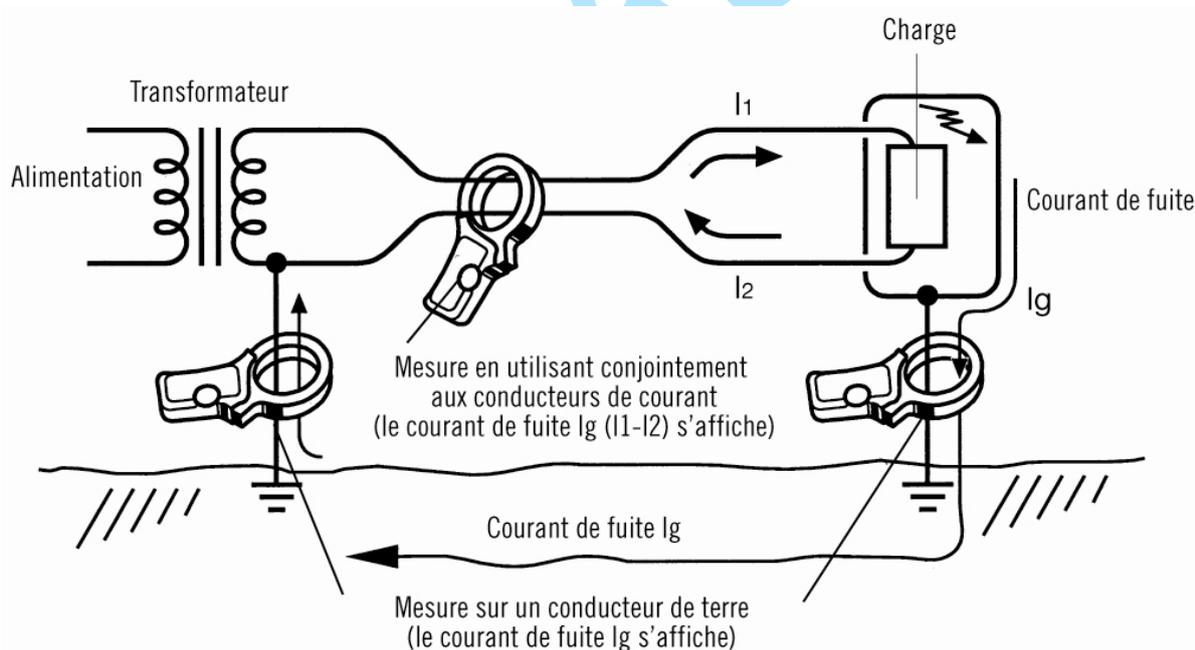
- La figure ci-dessous donne un exemple pratique pour localiser le défaut en mesurant le **courant de fuite**.
- Si le disjoncteur différentiel se déclenche, il doit être ponté temporairement. Le conducteur de phase et le conducteur neutre sont enserrés par la pince derrière le disjoncteur différentiel (pour des systèmes triphasés, il faut enserrer les trois conducteurs sous tension plus le conducteur neutre).
- L'afficheur de l'instrument indiquera immédiatement avec une haute résolution le **courant de fuite** à la terre dans l'installation.
- Admettons que l'afficheur indique **43.5mA**. En suivant simplement le trajet des conducteurs ayant un **courant de fuite**, le défaut sera trouvé.



- Normalement, en utilisant ce système de repérage, le défaut sera trouvé, mais il arrive que le **courant de fuite** à la terre ne soit pas provoqué uniquement par une faible résistance d'isolement.
- En fait, il est possible qu'en effectuant un test d'isolement, il n'y ait pas de faible valeur de résistance d'isolement, même si le disjoncteur différentiel se déclenche !

MÉTHODE DE MESURE DE COURANT DE FUITE

- ✓ Il y a deux (2) méthodes pour mesurer un **courant de fuite** : d'une part, en enserrant un seul conducteur de terre avec la **pince ampèremétrique** et, d'autre part, en enserrant en même temps deux conducteurs de courant (voir figure).
- ✓ La méthode avec les deux conducteurs de courant est utilisée pour chercher et afficher la différence de courant entre le conducteur entrant et le conducteur sortant. S'il n'y a pas de fuite au côté de la charge, l'afficheur indique **zéro (0 A)**. En cas de fuite au côté de la charge, le **courant de fuite** reflue vers l'alimentation via la terre, ayant pour résultat la différence de courant entre les deux conducteurs, qui s'affichera sur l'instrument comme une **valeur de courant de fuite**.





L'OSCILLOSCOPE

I. FAMILIARISATION AVEC L'OSCILLOSCOPE

1. PRÉSENTATION
2. DÉFINITION
3. DESCRIPTION DE L'OSCILLOSCOPE
4. FACE AVANT DE L'OSCILLOSCOPE
5. RÔLES DES DIFFÉRENTS BOUTONS
6. UTILISER UN OSCILLOSCOPE
 - 6.1. MISE EN ROUTE
 - 6.2. APPLICATIONS
7. TEST DE CALIBRATION

II. SONDE

8. PRÉSENTATION
9. DESCRIPTION DE LA SONDE
10. VISUALISATION D'UNE TENSION ÉLECTRIQUE
11. VISUALISATION D'UN COURANT ÉLECTRIQUE

III. GÉNÉRATEUR BASSE FRÉQUENCE : GBF

12. DÉFINITION

13. DESCRIPTION GÉNÉRALE

14. RÉGLAGES

14.1. SÉLECTION DE LA FRÉQUENCE

14.2. SÉLECTION DU TYPE DE SIGNAL

14.3. RÉGLAGE DE LA FRÉQUENCE

14.4. LES SORTIES

14.5. PARAMÉTRAGE DES CARACTÉRISTIQUES DU SIGNAL

15. PRÉSENTATION DE LA FAÇADE

16. FONCTIONNEMENT

16.1. MISE SOUS TENSION ET RACCORDEMENT

16.2. VÉRIFICATION PRÉLIMINAIRES

16.3. RÉGLAGES

17. ÉLÉMENTS CONSTITUANTS LA FAÇADE DU GBF

L'OSCILLOSCOPE

I. FAMILIARISATION AVEC L'OSCILLOSCOPE

1. PRÉSENTATION

L'électricité demeure mystérieuse car elle est **invisible** : on peut voir les éléments d'un circuit électrique (interrupteur, fils, ampoule, générateur...), on peut voir ses effets (l'ampoule qui s'allume, qui chauffe..), mais on ne voit jamais ce qui se passe dans les fils ou les récepteurs, c'est-à-dire à quoi ressemble le mouvement des électrons.

Un appareil, toutefois, permet de traduire en images le mouvement des électrons dans un circuit électrique : c'est l'**OSCILLOSCOPE** ...

2. DÉFINITION

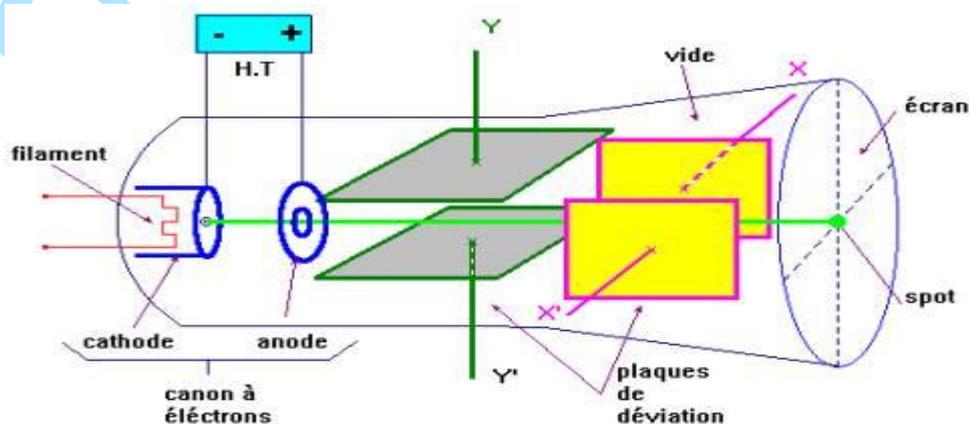
C'est un appareil qui peut afficher sur son écran des variations dans le temps de la tension électrique. Il existe deux types d'oscilloscopes : Bi-courbe et mono-courbe.

L'oscilloscope permet de suivre et de visualiser sur un écran l'évolution d'un ou plusieurs signaux électriques en fonction du temps. On peut également mesurer les caractéristiques des différents signaux tels que la **fréquence**, la **période**, l'**amplitude**, le **déphasage**...

3. DESCRIPTION DE L'OSCILLOSCOPE

C'est un appareil à faisceau d'électrons. Il comprend :

- ✚ Un canon à électrons
- ✚ Un écran qui est constitué d'une plaque fluorescente
- ✚ Des plaques de déviation. Les plaques Y et Y' sont les plaques de déviation verticale et les plaques X et X' sont les plaques de déviation horizontale.



COMMENT FONCTIONNE L'OSCILLOSCOPE ?

Le filament et la cathode de l'oscilloscope produisent une source d'électrons libres, que des grilles accélèrent et concentrent en un faisceau dirigé vers le fond phosphorescent d'un tube cathodique. Ce faisceau produit un **SPOT**, qui est déplacé sur l'**axe X** par les plaques de déviation horizontales, via l'amplificateur horizontal, et sur l'**axe Y** par les plaques de déviation verticales, via l'amplificateur vertical. Le faisceau semble donc dessiner une ligne continue, appelée **TRACE**. L'écran du tube est quadrillé par une graticule de **10 divisions horizontales** et **8 divisions verticales**.

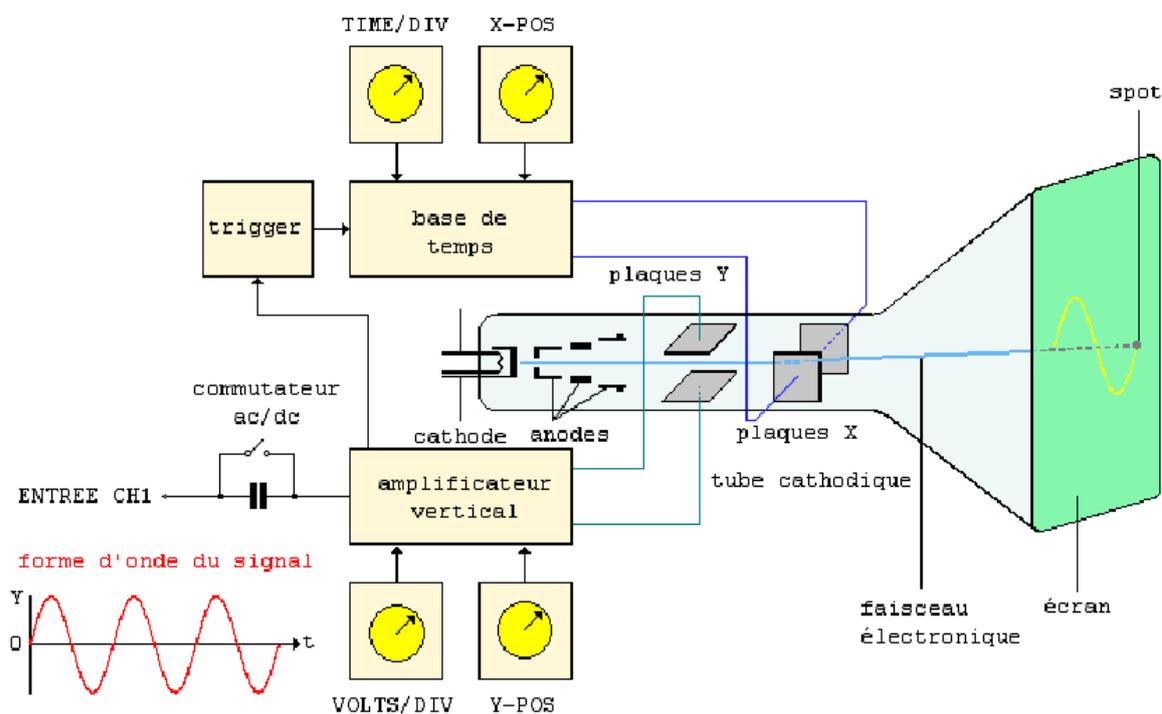
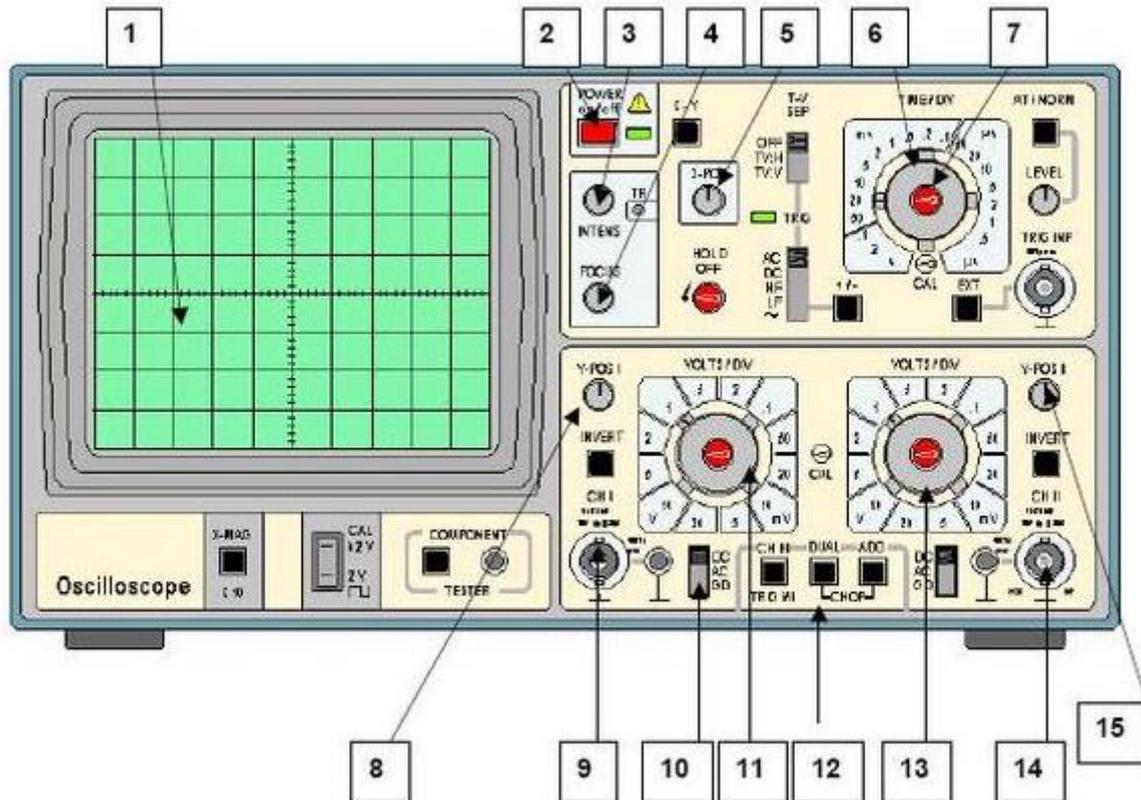


Schéma de principe simplifié d'un oscilloscope. Le signal est présenté sur l'entrée CH1 (canal 1, channel en anglais), puis il est amplifié (ou atténué) grâce au réglage VOLTS/DIV. Le réglage TIME/DIV permet de faire varier la vitesse de balayage horizontal. Les réglages X-POS et Y-POS permettent de déplacer la trace par rapport aux axes.

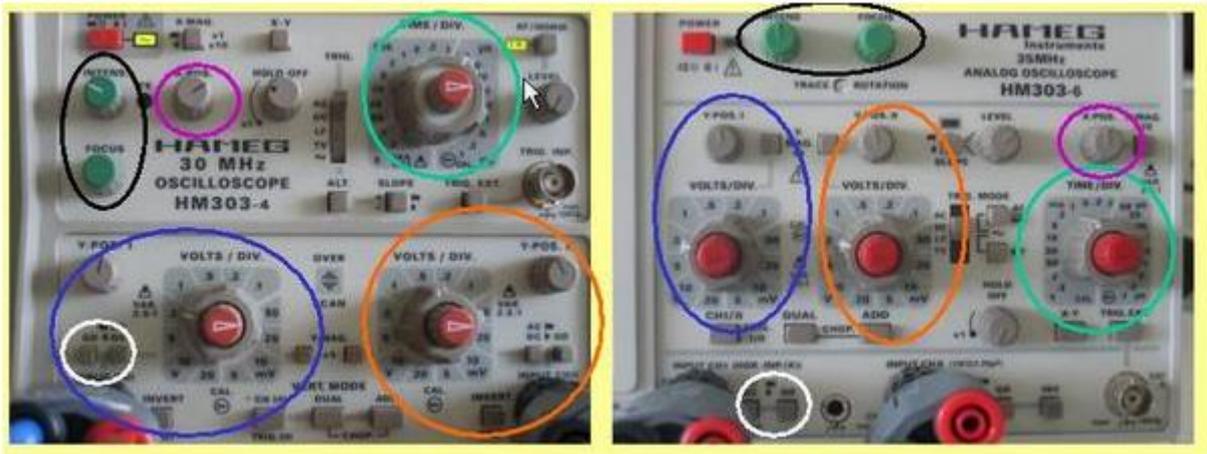
4. FACE AVANT DE L'OSCILLOSCOPE

Il existe plusieurs gammes d'oscilloscope. Celui qui est le plus utilisé au laboratoire possède deux voies YA (ou CH1) et YB (ou CH2) permettant de mesurer une à deux tensions.

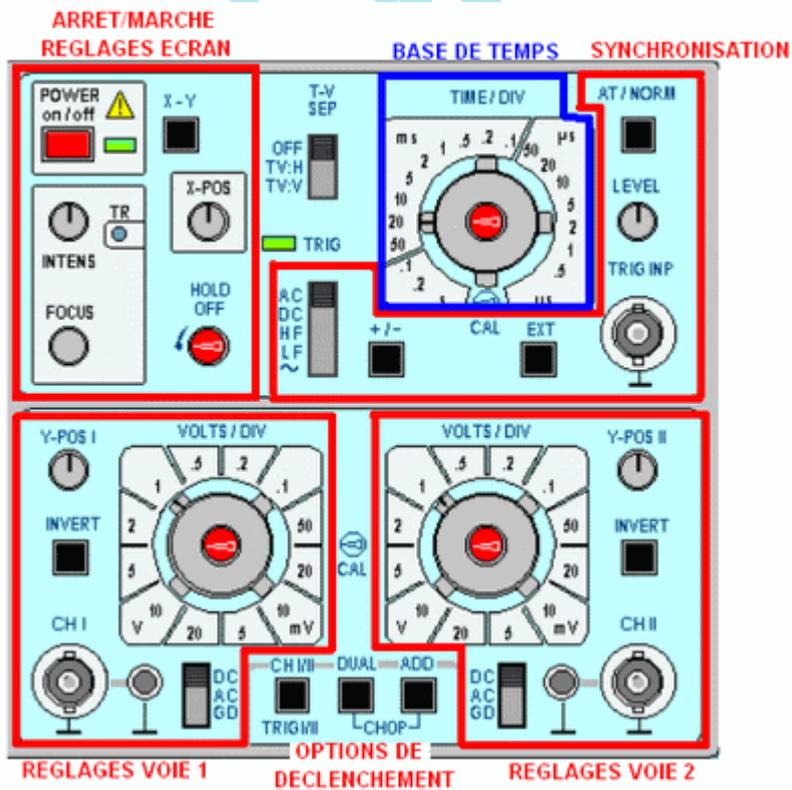
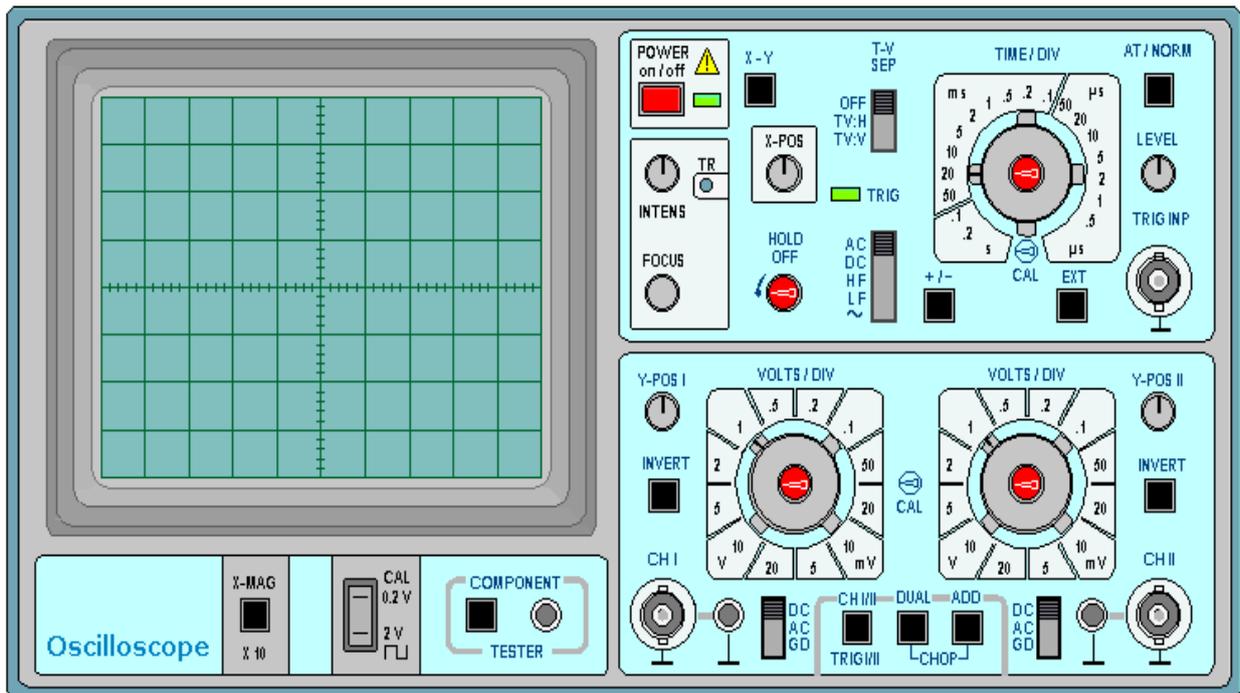


- 1. Écran
- 2. Bouton marche-arrêt
- 3. Intensité du spot
- 4. Netteté du spot
- 5. Déplacement du spot sur l'axe des temps
- 6. Bouton durée de balayage
- 7. Bouton rouge devant être tourné à fond dans le sens des aiguilles d'une montre.

- 8. et 15. Déplacement vertical
- 9. et 14. Voie CH1 et CH2 ainsi que la masse
- 10. mise à zéro (curseur GD), ou utilisation d'une tension continue ou alternative
- 11. et 13. Sensibilité verticale de la Voie CH1 et de la voie CH2
- 12. visualisation des voies CH1 et CH2 seules ou ensemble ou addition des voies.

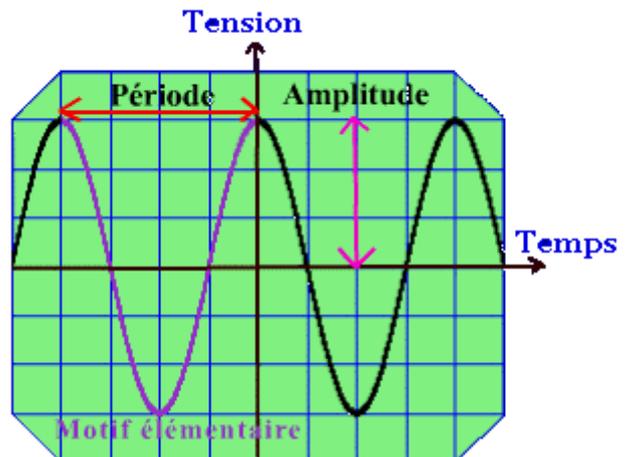
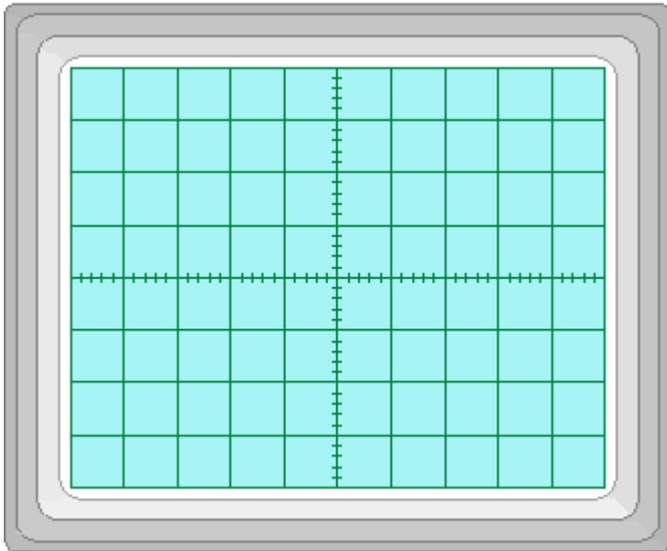


Les boutons entourés de cercles de même couleur correspondent à la même fonction pour ces deux oscilloscopes.



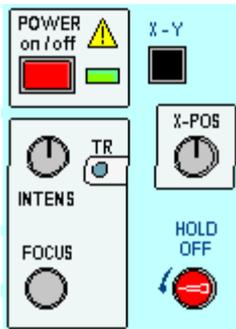
5. RÔLE DES DIFFÉRENTS BOUTONS

(1) Écran

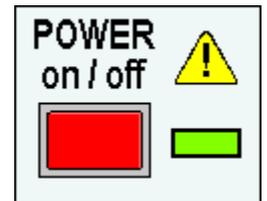


La courbe obtenue sur l'écran d'un oscilloscope est appelée un **oscillogramme**.

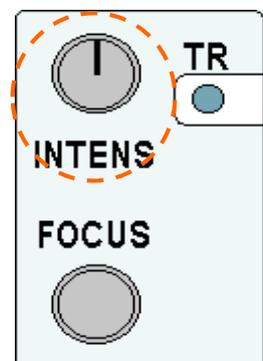
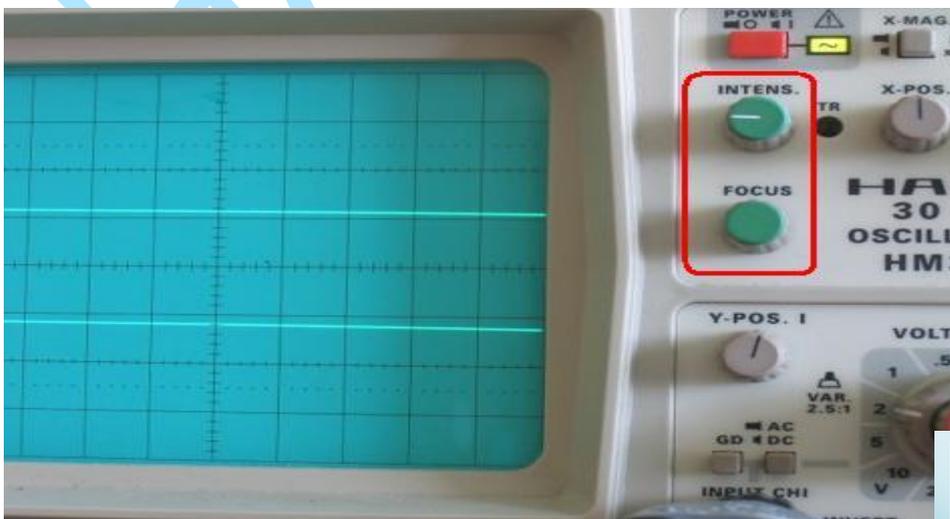
(2) Marche/Arrêt - Réglage écran



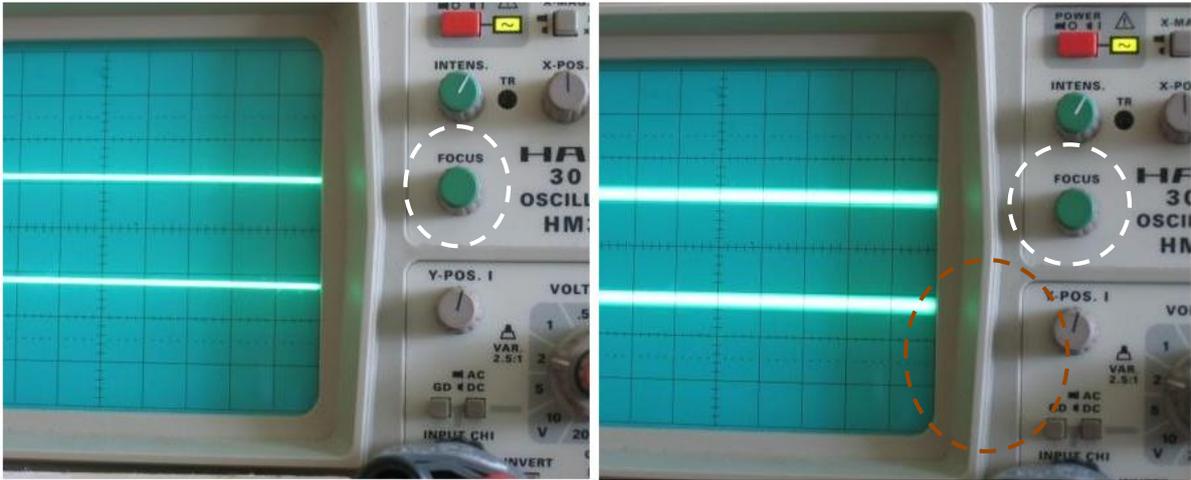
Avec le classique mais indispensable bouton **MARCHE/ARRÊT** (POWER on/off). Une led s'allume pour indiquer que l'appareil est sous tension.



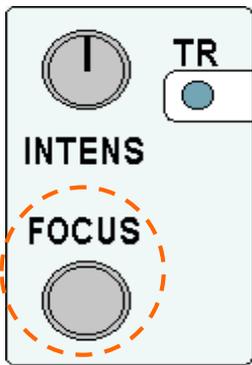
(3 et 4) Intensité et focus



En utilisant le bouton **intensité**: on éclaire plus ou moins le faisceau.



En utilisant le bouton **FOCUS** : on rend plus ou moins net le faisceau.



Si besoin est, la vis de réglage **TR** sera délicatement tournée à l'aide d'un petit tournevis pour obtenir une trace parfaitement horizontale en l'absence de signal.

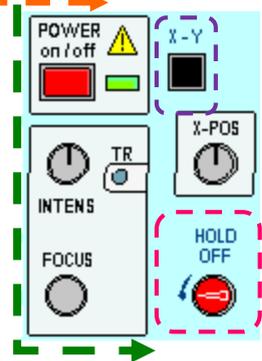


✓ Le bouton **HOLD OFF** permet d'introduire un délai par rapport au moment de déclenchement.

Dans la majorité des cas, on se contentera de laisser ce réglage au minimum.

Le bouton **X-Y** permet d'obtenir une courbe de Lissajous - non traité dans ce cours - En fonctionnement normal, ce bouton n'est pas enfoncé.

X-Y



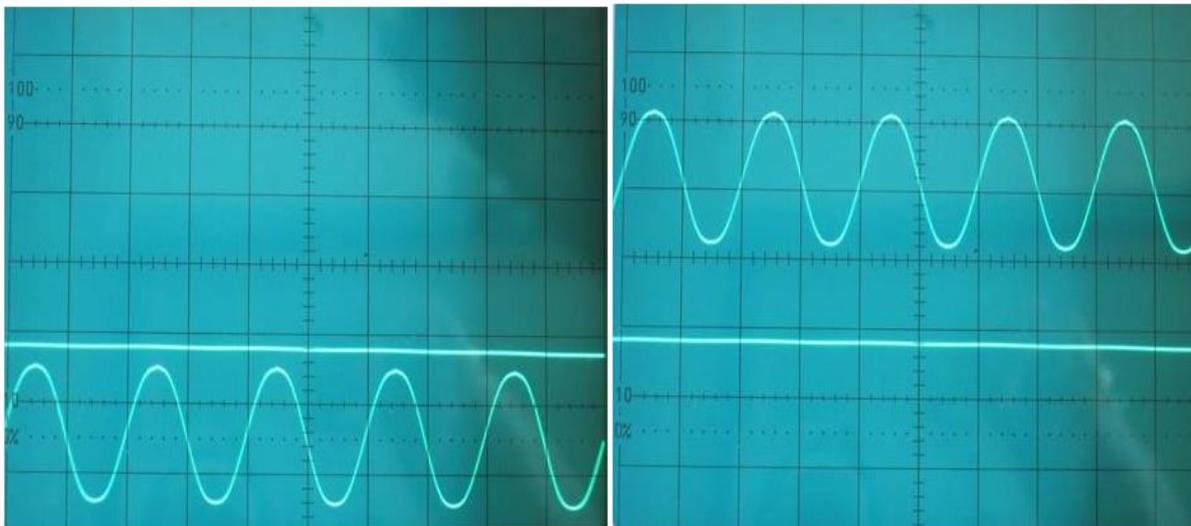
(8 et 15) **Décalage vertical**



Pour les deux voies YA et YB, on peut déplacer les faisceaux verticalement à l'aide des boutons **Y-POS.** (I ou II)



- ✓ Chaque voie possède un réglage **Y-POS**, respectivement **Y-POS I** et **Y-POS II**.
- ✓ Ce bouton permet, à l'instar de son homologue **X-POS**, de déplacer la trace verticalement, vers le haut ou vers le bas.
- ✓ S'agissant d'un signal alternatif, on ajustera **Y-POS** de manière à ce que la ligne centrale de l'écran corresponde à **0 V**.
- ✓ En utilisant ce bouton, cela facilite la lecture de la tension comme le montre la figure ci-dessous :

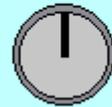


(5) Décalage horizontal

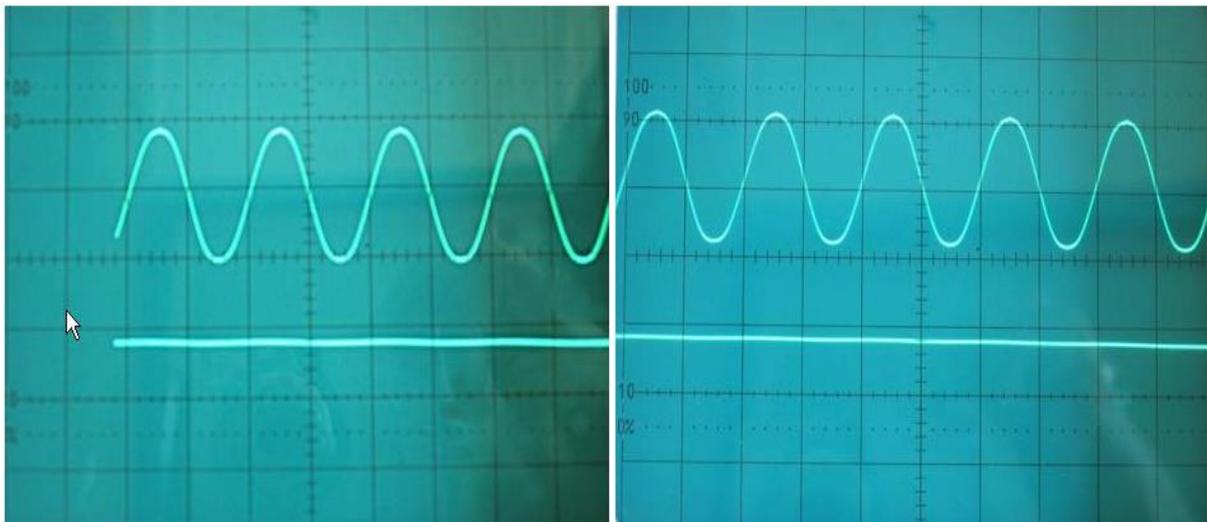


Pour les deux voies YA et YB, on peut déplacer les faisceaux horizontalement à l'aide du bouton **X-pos.**

X-POS



Le bouton **X-POS** permet un déplacement latéral des deux traces ensemble. En utilisant ce bouton, cela facilite quelque fois la lecture de la période.



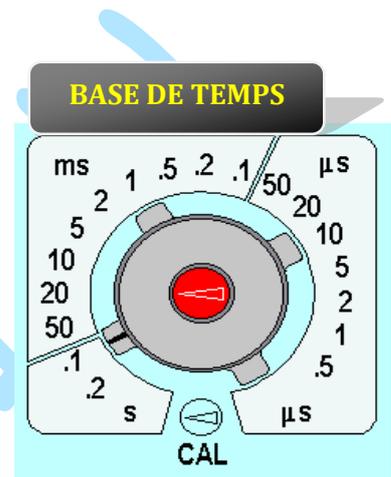
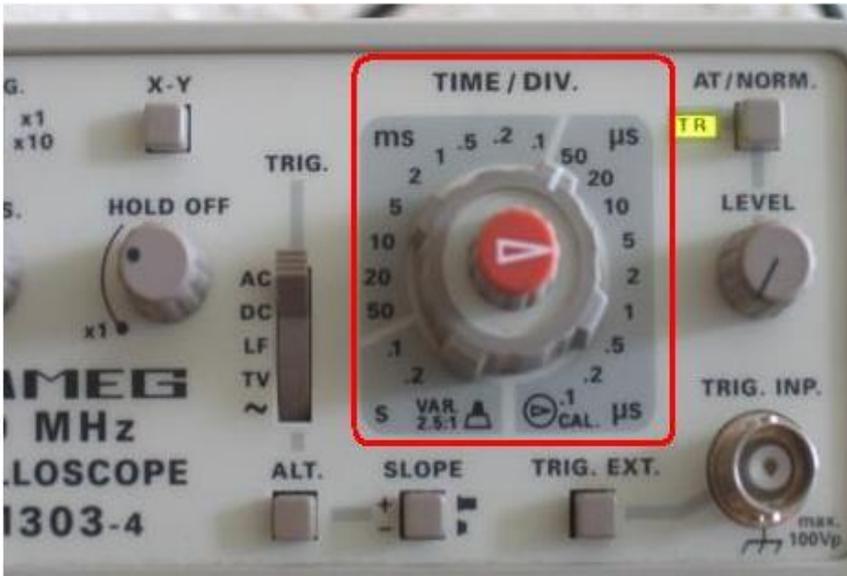
(6) Le balayage

Le balayage est un dispositif interne à l'oscilloscope qui oblige le spot lumineux à se déplacer de la gauche vers la droite de l'écran.

Lorsque le balayage n'est pas enclenché, le spot lumineux ne peut plus se déplacer de la gauche vers la droite de l'écran.

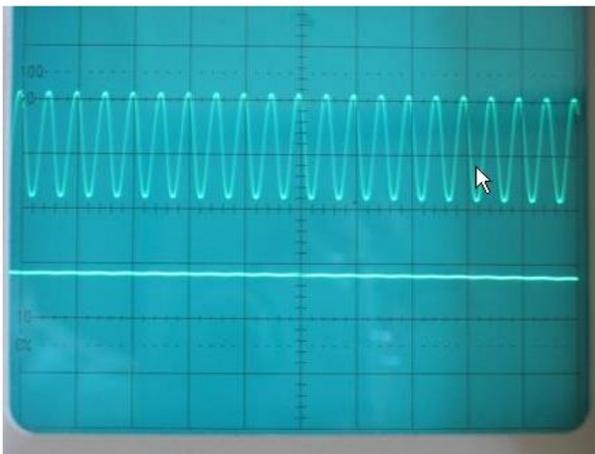
Les faisceaux que l'on voit sont en fin de compte le bout de la section du faisceau d'électrons qui vient percuter l'écran.

Un faisceau est incolore. Sur la paroi de l'oscilloscope est placée une substance qui devient fluorescente au contact des électrons. On peut donc les voir. Cette section est appelée : **spot**. Il se déplace de gauche à droite avec une vitesse réglable que l'on appelle : **balayage**.

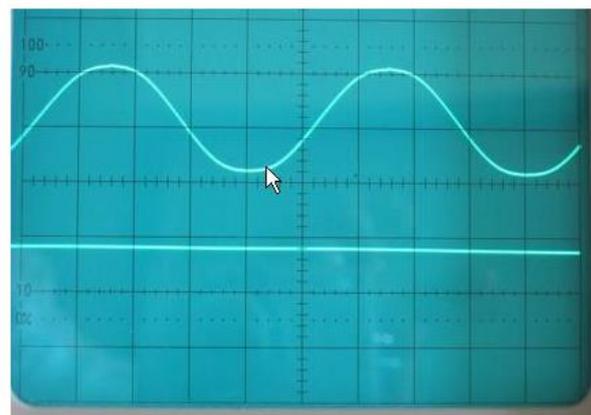


Un des réglages essentiels de l'oscilloscope (parmi d'autres) : le rotacteur **TIME/DIV.** Il permet de faire varier le temps de balayage de **0,2 seconde** à **0,5 μ s** (par division - une division représentant un carreau sur le réticule).

Si on choisit un réglage de **0,2 s/DIV**, le spot mettra **2 secondes** pour franchir les **10 divisions**. Sur la position **0,1 s/DIV**, il ne mettra que **1 seconde**.



Ici la durée de balayage est de **50 μ s** par division.
Une division est un gros carreau.
Ce qui signifie que le spot se déplace à la vitesse de **50 μ s / div.**

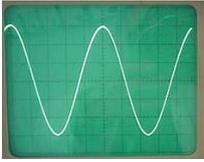
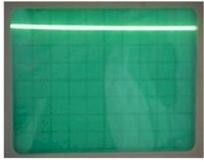
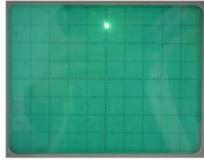
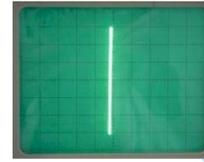
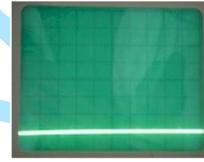


En augmentant la durée de balayage, le spot se déplace moins vite. La courbe paraît plus étirée et il est plus aisé de mesurer un temps avec une courbe occupant un grand espace (meilleure précision).

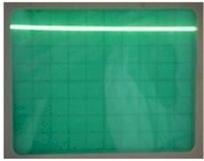
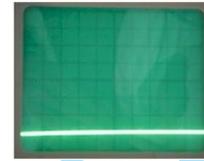
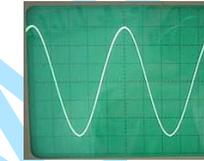
APPLICATION

Associations de photos d'écrans d'oscilloscopes et les indications sur les tensions et sur les réglages de l'oscilloscope.

Faire correspondre les images à droite avec le texte à gauche.

tension continue positive avec balayage	tension continue négative avec balayage	tension sinusoïdale avec balayage	tension continue positive sans balayage	tension sinusoïdale sans balayage
				
①	②	③	④	⑤

SOLUTION

①. Sur un écran d'oscilloscope, le balayage étant enclenché :

- Une tension continue positive est visualisée par une ligne horizontale, dans la partie supérieure de l'écran (ou un point se déplaçant sur une ligne horizontale).
- Une tension continue négative est visualisée par une ligne horizontale, dans la partie inférieure de l'écran (ou un point se déplaçant sur une ligne horizontale).
- Une tension sinusoïdale est visualisée par une sinusoïde.

②. Sur un écran d'oscilloscope, le balayage n'étant pas enclenché :

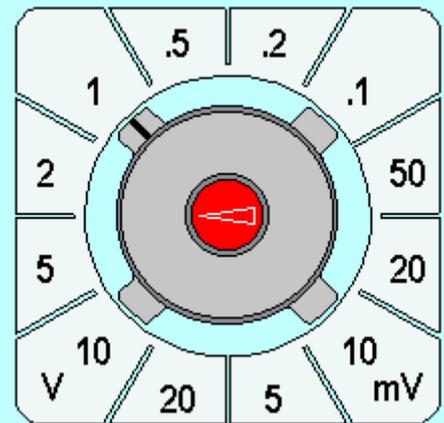
- Une tension continue positive est visualisée par un point fixe, dans la partie supérieure de l'écran
- Une tension sinusoïdale est visualisée par un segment de droite verticale, dans les parties supérieure et inférieure de l'écran.

Réglages voies

I. (11 et 13) Mesure d'une tension

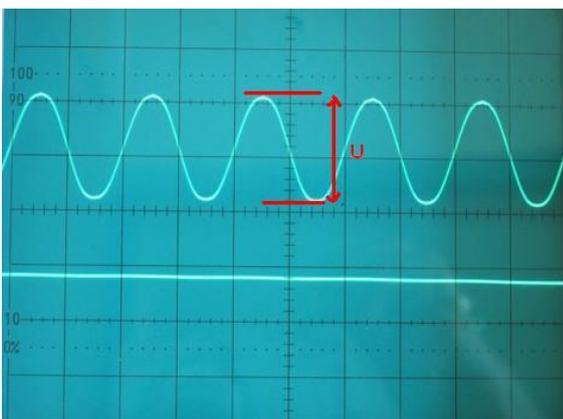


On utilise, pour mesurer une tension, le bouton **sensibilité verticale (VOLTS/DIV)**.



Pour la voie 1 (ici) : La valeur de la sensibilité verticale est : $s = 2 \text{ V/div.}$

Chaque voie possède un réglage indépendant de l'échelle verticale, à savoir celle des **VOLTS / DIV.** Il s'agit là d'un réglage sur lequel on sera très souvent amené à intervenir ne serait-ce que pour pouvoir afficher le signal dans son entier si, par exemple, son amplitude est trop grande. Les positions vont de **20 V** à **5 mV** par division.



RELATION POUR MESURER UNE TENSION

$U = (\text{sensibilité verticale}) \times (\text{nombre de divisions représentant la tension}).$

$$U_{\text{max}} = 2\text{V} \times 1 \text{ carreau} = 2 \text{ V} ;$$

Ou bien

$$U_{\text{crête à crête}} = 2 \text{ V} \times 2 \text{ carreaux} = 4 \text{ V}.$$

II. Mesure d'une période



On utilise, pour mesurer une période, le bouton balayage (TIME/DIV).

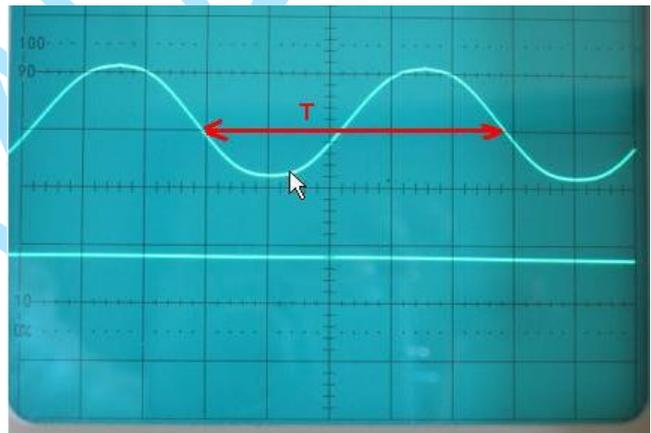
La valeur de la durée de balayage est ici: $t = 50 \mu\text{s}/\text{div.}$

RELATION POUR MESURER UN TEMPS

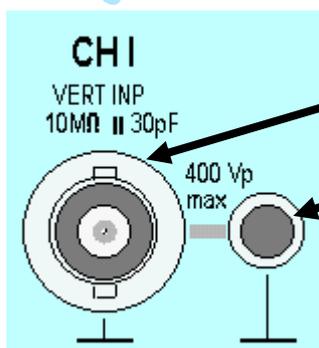
$T = (\text{durée de balayage}) \times (\text{nombre de divisions représentant le temps}).$

$$T = 50 \cdot 10^{-6} \times 4,8 \text{ carreaux} = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ s.}$$

Remarque : 1 division = 5 sous-divisions



III. (9 et 14) Les prises BNC des entrées VOIE 1 et VOIE 2



C'est sur ces prises que nous entrerons notre signal pour chacune des deux voies.

La prise sur le côté est l'entrée 0 V ou masse.

En bas de façade, on trouve les prises BNC des entrées CH I et CH II. C'est là que sont connectés les signaux d'entrée, à l'aide des sondes.

Les petites prises sur le côté fournissent des entrées supplémentaires 0 V ou masse (GROUND).

Le commutateur **DC/AC/GND** permet de choisir, pour chaque voie :

- **DC**: le signal d'entrée est connecté directement à l'amplificateur vertical. On visualise le signal avec sa **composante continue**.
- **AC**: Le signal mais **sans sa composante continue**. Un condensateur est intercalé à l'entrée, si bien que les tensions continues sont bloquées et seules les **tensions alternatives** du signal sont visualisées.
- **GND**: Plus d'affichage du signal. Cela permet de positionner la trace (par le bouton Y-POS) sur une ligne horizontale du réticule (cela deviendra la position 0 V du signal à l'écran).



INVERT



Lorsque le bouton **INVERT** est enfoncé, le signal correspondant est inversé à l'écran, de bas en haut.

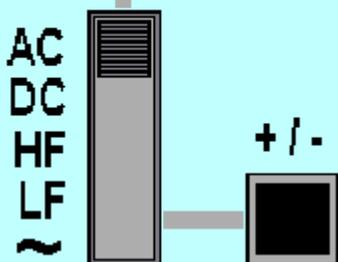
Le réglage **TV-SEPARATION** peut occuper trois (3) positions. Il est utilisé lorsqu'on désire travailler sur un poste de télévision.

ATTENTION !!! La présence de tensions très élevées dans les postes de télévision rend cette opération dangereuse. Elle est donc strictement réservée à des personnels qualifiés. La position correcte de ce réglage est donc **OFF**.

**T-V
SEP**



TRIG



- ☑ Le commutateur en bas, à gauche de **TIME/DIV**, permet de choisir entre différentes options de déclenchement (**TRIGGER**). D'une manière générale, la position adéquate sera **AC**.
- ☑ Les autres positions (**DC**, **HF** pour **HIGH FREQUENCY**, **LF** pour **LOW FREQUENCY** et **~** pour une fréquence de **50 Hz**) ne sont utilisées que pour des mesures qui ne présentent pas d'intérêt pour un débutant.
- ☑ La **DEL** rectangulaire **TRIG** s'illumine lorsqu'un point de déclenchement a été détecté.

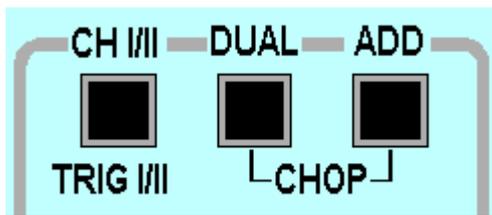


- À droite de **TIME/DIV**, on trouve un groupe de boutons qui permettent de synchroniser l'affichage du scope avec le signal qu'on désire étudier.
- Lorsqu'**AT/NORM** n'est pas enfoncé, le déclenchement est automatique. C'est **la position la plus courante**.
- Si on enfonce **AT/NORM**, on utilise alors le bouton **LEVEL** pour visualiser le signal.
- Le bouton **EXT** n'est enfoncé que si le déclenchement est provoqué par un signal externe présenté sur l'entrée **TRIG INP (TRIGGER INPUT)**. Dans tous les autres cas, ce bouton ne doit pas être enfoncé.

EN RÉSUMÉ

On met le scope sous tension à l'aide du bouton **M/A**, on laisse **X-Y** en position **OUT** (pas enfoncé), **HOLD-OFF** au **mini**, **TV-SEP** sur **OFF**, **TRIG** sur **AC**, **AT/NORM** sur **OUT** (pas enfoncé), et il ne reste plus qu'à choisir le réglage de **TIME/DIV** et **VOLT/DIV**.

(12) Options de déclenchement



Au centre, en bas du panneau de contrôle inférieur, se trouve un groupe de trois (3) boutons qui permettent de choisir quelle (s) trace(s) sera ou seront visible (s) à l'écran. On peut ainsi obtenir huit (8) affichages différents : un seul signal (**CH1** ou **CH2**), les deux (2) simultanément, l'un après l'autre, etc.

Tous les oscilloscopes sont bi-courbes, c'est à dire qu'ils permettent d'afficher simultanément deux traces (voies 1 et 2). En réalité, comme il n'y a qu'un seul tube, on affiche une trace puis l'autre. C'est la rapidité de l'affichage qui donne l'impression d'en voir deux.

- **CH I/II (TRIG I/II)** : En déclenchement interne, c'est l'arrivée du signal qui déclenchera le départ du balayage, on choisit par ce bouton quelle voie déclenchera la trace (Voie 1 ou 2).
- **DUAL** : Nous définissons si nous travaillons avec une seule trace ou en double-voie.
- **ADD** : L'oscilloscope effectue la sommation des deux voies.
- **DUAL et ADD en même temps** : **Mode chopper**.

Car l'oscilloscope peut fonctionner sous deux modes de balayage :

Mode alterné : C'est le mode le plus courant. Chaque trace est affichée l'une après l'autre. Grâce à la persistance rétinienne nous avons l'impression que les 2 traces s'affichent en même temps.

Mode chopé : utilisé essentiellement pour des fréquences inférieures à 100 Hz où la persistance rétinienne joue beaucoup moins son rôle. Dans ce cas, l'affichage commute alternativement voie 1 / voie 2 très rapidement (à une fréquence de plusieurs KHz) si bien, qu'en réalité, chaque trace est donc un pointillé, mais nous apparaît quand même comme continue.

COMMUTATEURS DE CONTRÔLE DONT LES TRACES APPARAISSENT SUR L'ÉCRAN DE L'OSCILLOSCOPE

CH I/II	DUAL	ADD	effet de réglage
OUT	OUT	OUT	Fonctionnement normal: Affichage de CH I seulement, déclenchant à partir de CH I .
IN	OUT	OUT	Affichage de CH II seulement, déclenchant à partir de CH II .
OUT	IN	OUT	Affichage de CH I et CH II sur balayage alterné, déclenchant à partir de CH I .
IN	IN	OUT	Affichage de CH I et CH II sur balayage alterné, déclenchant à partir de CH II .
OUT	OUT	IN	Les deux signaux CH I et CH II additionnés ensemble pour produire une seule trace, déclenchant à partir de CH I .
IN	OUT	IN	Les deux signaux CH I et CH II additionnés ensemble pour produire une seule trace, déclenchant à partir de CH II .
OUT	IN	IN	Affichage de CH I et CH II simultanément, déclenchant à partir de CH I .
IN	IN	IN	Affichage de CH I et CH II simultanément, déclenchant à partir de CH II .

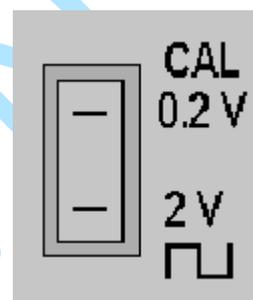
Les paramètres soulignés en jaune sont fréquemment utilisés.
Pour un fonctionnement normal, les trois touches sont en position de sortie (OUT position).

Pour finir, il reste à voir les trois (3) fonctions disponibles en bas de façade, sous l'écran :



Lorsque le bouton **X-MAG** est enfoncé, **l'échelle horizontale est multipliée par 10**. Si par exemple **TIME/DIV** est réglé sur **1 ms/div.**, l'échelle passe **0,1 ms/div.**

Ces deux (2) sorties **CAL** délivrent des signaux carrés d'amplitude **0,2 V** et **2 V à 50 Hz**, respectivement. Ces signaux sont utilisés pour vérifier que le scope est correctement calibré.



Certains scopes, comme celui-ci, sont dotés d'un **testeur de composants**, qui permet l'affichage de la caractéristique d'un composant. Pour ce faire, on enfonce le bouton. Dans tous les autres cas, ce bouton ne doit pas être enfoncé.

LES DEUX RÉGLAGES IMPORTANTS

Les deux réglages les plus importants de l'oscilloscope sont :

- la valeur de la sensibilité verticale en **V/div.**
- la valeur de la durée de balayage en **ms/div.**

Ces deux réglages sont importants car ils nous permettent de connaître l'échelle horizontale et l'échelle verticale de l'oscillogramme.

6. COMMENT UTILISER UN OSCILLOSCOPE ?

6.1. MISE EN ROUTE

- ✓ Mettre le scope sous tension ;
- ✓ S'assurer que tous les réglages sont en position correcte (surtout si l'appareil est utilisé par d'autres personnes). La " **position correcte** " est celle indiquée dans le mode

d'emploi de l'appareil. Le plus souvent, les boutons sont sortis (pas enfoncés), les interrupteurs à glissière en position haute et les réglages fins en position centrale.

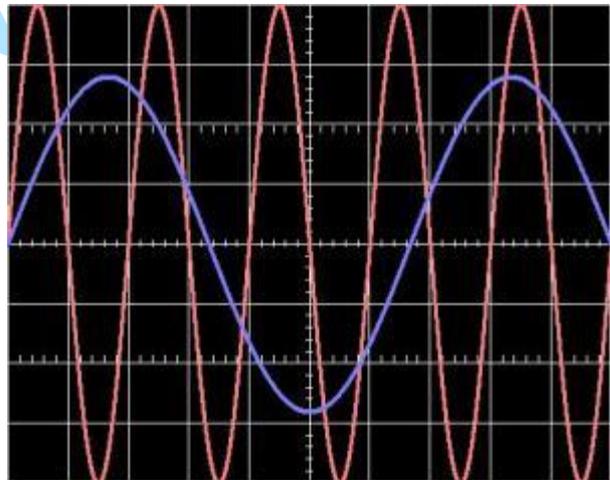
- ✓ Placer les rotacteurs **VOLT/DIV** sur la position **1 V/DIV** et **TIME/DIV** sur **0,2 s/DIV**, soit sa plus petite valeur de réglage.
- ✓ On allume l'appareil en appuyant sur le bouton **POWER**. La DEL-témoin verte s'illumine et, au bout d'un instant, un spot lumineux traverse l'écran.
- ✓ Essayer les contrôles **Y-POS**, **INTENSITY** et **FOCUS**. Ajuster ces réglages de manière à bien centrer le spot au milieu de l'écran. Le spot doit être lumineux mais pas éblouissant, et aussi net que possible.
- ✓ Regarder l'effet produit lorsque le rotacteur **TIME/DIV** passe de la position **0,2 s/DIV** à une vitesse de balayage supérieure. Le spot traverse l'écran de plus en plus vite.
- ✓ Le réglage **VOLT/DIV** du canal 1 détermine l'échelle de l'axe vertical, celui des volts. Placer-le sur **1 V/DIV** : chaque division verticale correspond alors à une tension de **1 V**.
- ✓ S'assurer que **Y-POS I** est bien centré, que **INVERT** (si le modèle dispose de ce bouton) est en position normale, que le curseur **AC/DC/GND** est sur **AC**, et que les trois (3) boutons de réglage **CH1/CH2**, **DUAL** et **ADD** ne sont pas enfoncés. Dans cette configuration, on ne visualise que la trace du signal 1.

6.2. APPLICATIONS

A. Visualisation des tensions de 2 générateurs sur un oscilloscope bi-courbe

De nombreux oscilloscopes permettent de visualiser simultanément deux tensions.

- Déterminer la valeur maximale U_{max} de la tension et la période T de chacune des tensions.



Réglages		
pour la courbe en rouge : 2 V/div	pour la courbe en violet : 5 V/div	5 ms/div

Courbe rouge

$U_{max} =$
 $T =$

Courbe violette

$U_{max} =$
 $T =$

SOLUTION

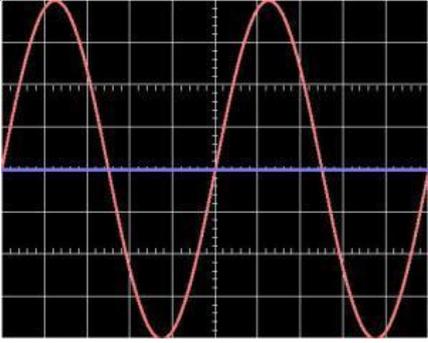
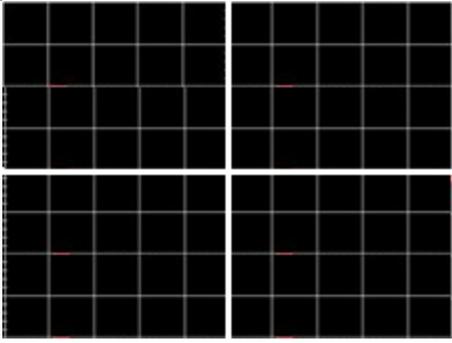
Courbe rouge

$U_{max} =$
 $T =$

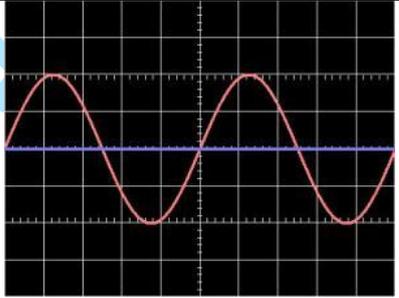
Courbe violette

$U_{max} =$
 $T =$

B. Modification de la sensibilité verticale

	
<p>On relie un générateur à un oscilloscope. Les réglages de l'oscilloscope sont : 1 V/div ; 2 ms/div.</p> <p>➤ Que peut-on prévoir pour la courbe observée si on règle l'oscilloscope sur 2 V/div. sans modifier la durée de balayage ?</p>	<p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>

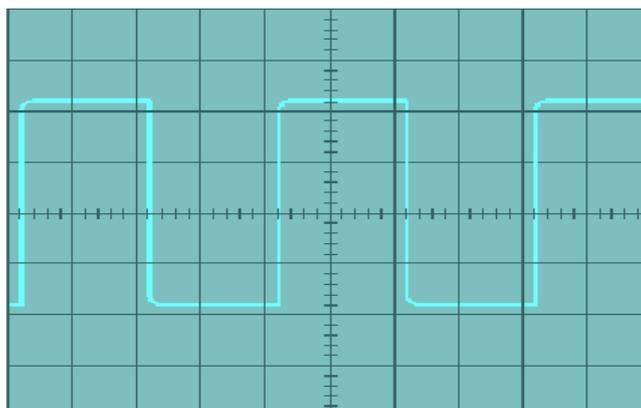
SOLUTION

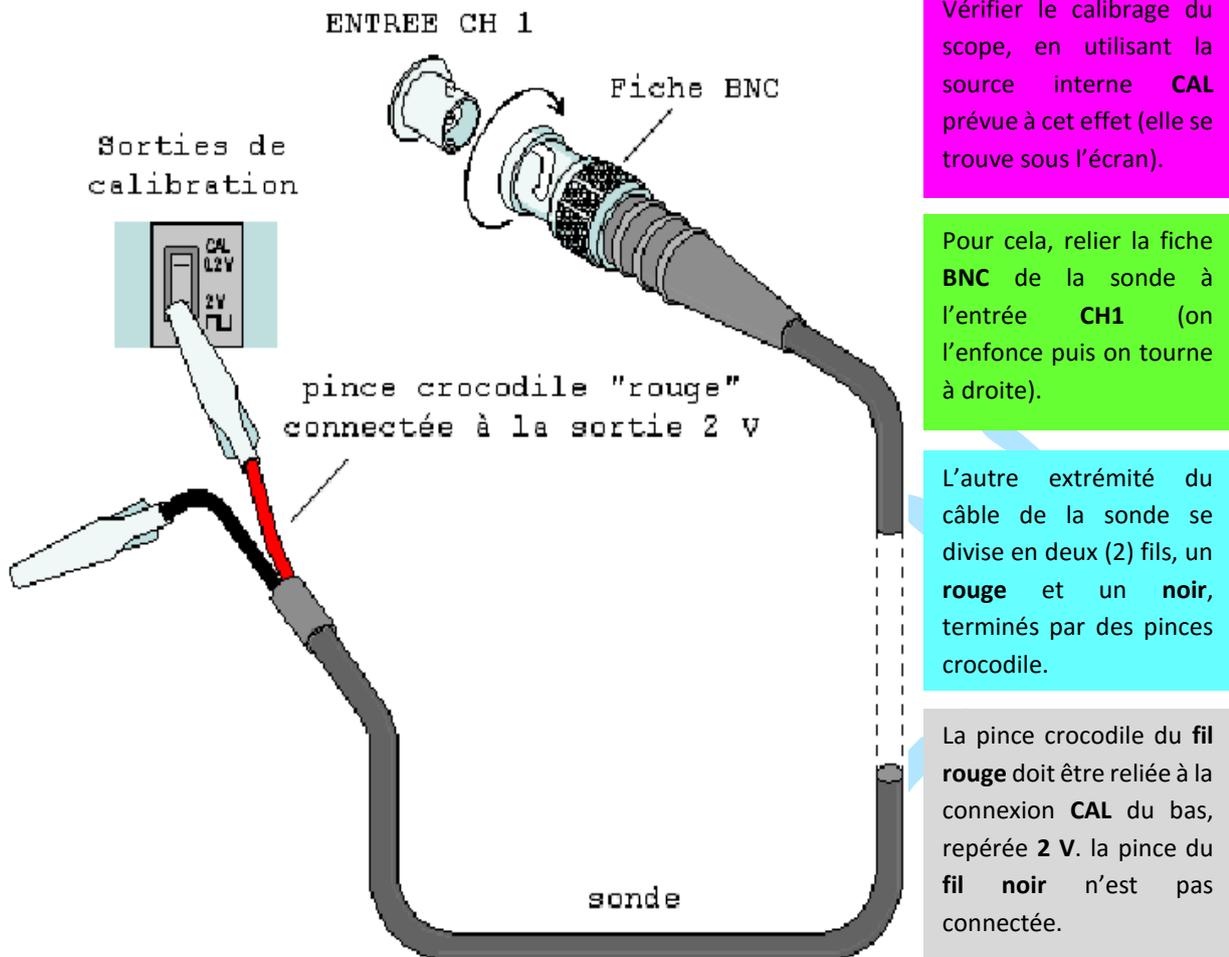
<ul style="list-style-type: none"> • Sur 1 V/div. la tension maximale correspondait à 4 divisions verticales donc $U_{max} = 4V$. • Sur 2 V/div., U_{max} qui vaut 4 V sera représentée par deux divisions verticales. <p>Donc voici la courbe qui sera observée (elle est deux fois moins "haute")</p>	
--	--

7. TEST DE CALIBRATION

Ce test consiste, ni plus ni moins, à présenter sur l'entrée **CH1** un signal carré dont l'amplitude est de **2 V** et la fréquence **50 Hz**.

Utiliser les réglages **VOLT/DIV** et **TIME/DIV** pour obtenir une représentation fidèle du signal, comme ci-dessous :





II. SONDE

8. PRÉSENTATION

Pour assurer la liaison entre l'élément sur le quelle on mesure une tension et l'entrée de l'**oscilloscope**, il faut utiliser un ensemble de deux (2) conducteurs recueillant aussi peu que possible les parasites extérieurs. Pour cela on emploie un câble coaxial. Le fil du milieu est le signal à visualiser et celui autour (blindage) est la masse de l'**oscilloscope**.

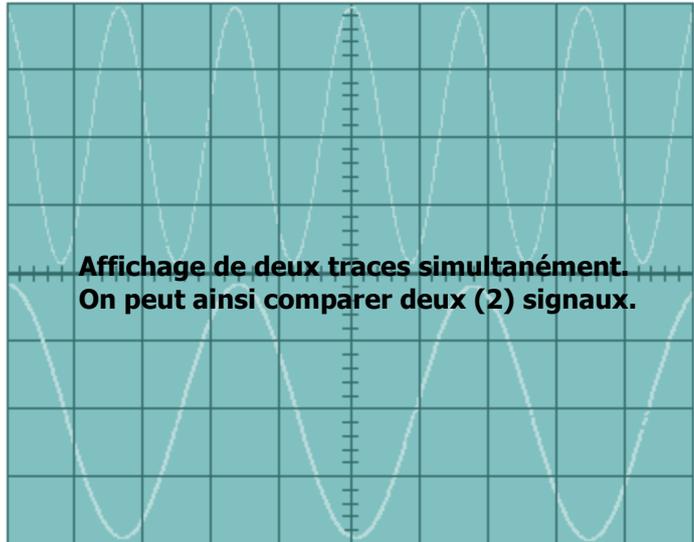
Une **sonde** est un câble coaxial (similaire à un câble TV), terminé à une extrémité par une fiche type **BNC**, et à l'autre par deux fils, un rouge et un noir, reliés à des pinces "crocodile" ou parfois à des pointes de touche.

9. DESCRIPTION DE LA SONDE

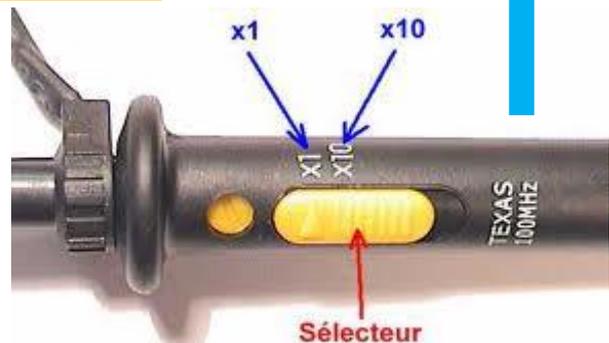
La **sonde** est constituée d'une pointe de touche sur laquelle on clipse un capuchon pourvu d'un crochet ou d'une pince servant à s'accrocher à un picot pour y prélever le signal. La pointe de touche est reliée à la BNC mâle au moyen du câble coaxial de 1 mètre et demi de longueur et

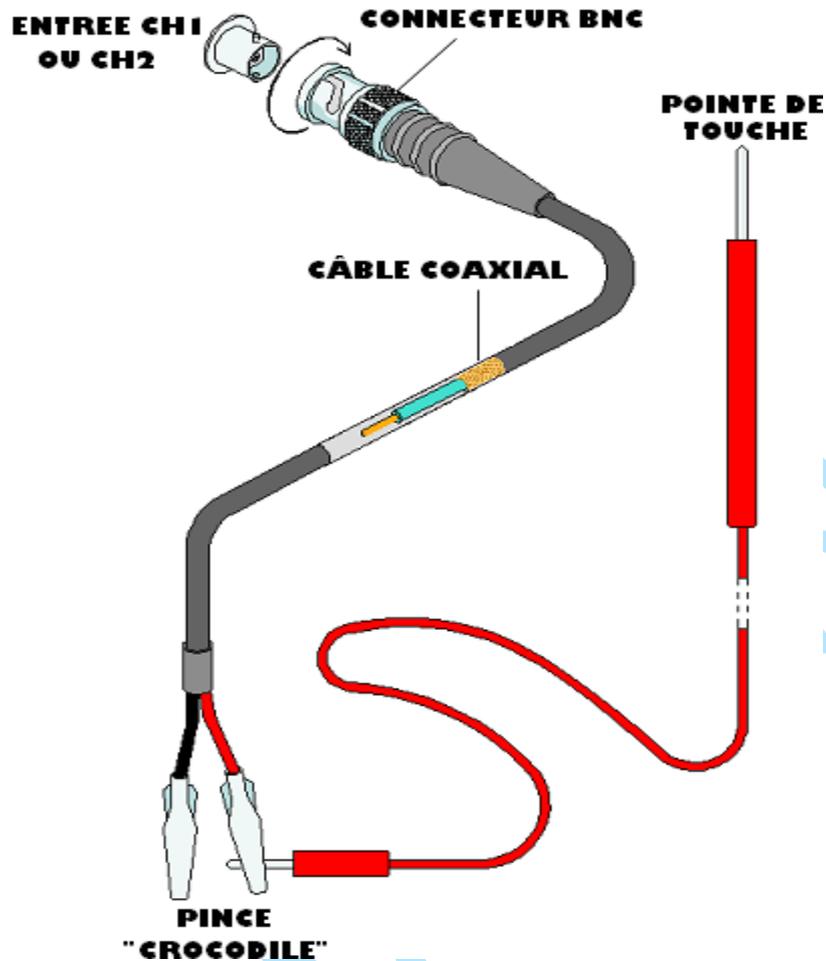
un petit morceau de fil isolé assorti d'une pince crocodile sur le côté de la pointe (relié à la tresse de masse, il permet la connexion à la masse du circuit à tester).

Le connecteur BNC doit être inséré dans la prise du scope (CH1 ou CH2, selon le cas) ; on pousse, puis on tourne. La pince croco du fil noir doit être reliée à 0 V ou GND. On utilise ensuite la pointe de touche (ou La pince croco du fil rouge, suivant ce qui s'avère le plus pratique) pour tester les différents points du circuit.



Lorsqu'on aura bien compris les notions de base avec affichage d'une seule trace, on exploitera au mieux les possibilités de l'appareil en affichant deux (2) traces simultanément.

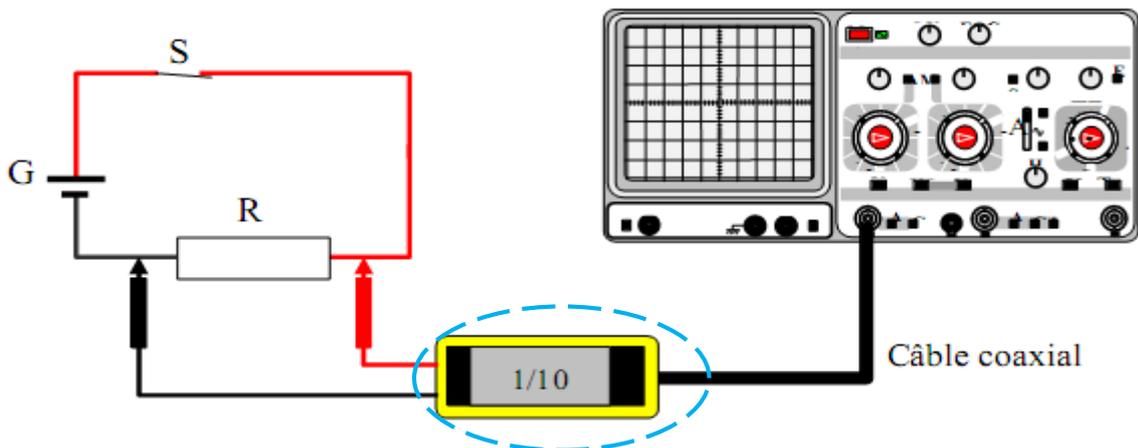


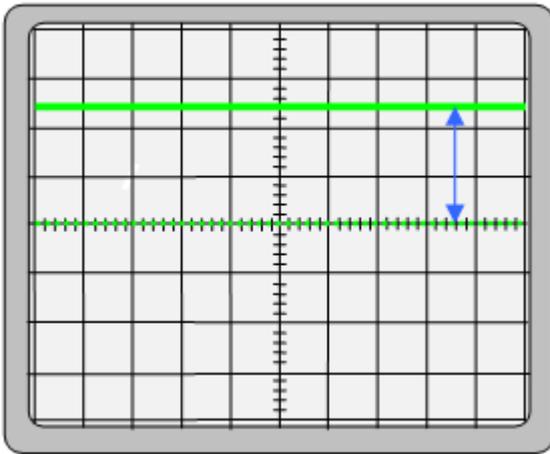


10. VISUALISATION D'UNE TENSION ÉLECTRIQUE

Pour visualiser une tension électrique continue, il suffit de relier l'une des entrées aux bornes du récepteur. Toutefois il est fortement conseillé d'utiliser une **sonde de tension** pour faire les mesures en toute sécurité et, isoler les entrées de l'**oscilloscope** lorsque les mesures sont référencées à des potentiels différents.

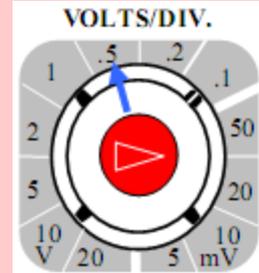
Une **sonde** atténue le signal d'entrée : il faut en tenir compte lors de la mesure.





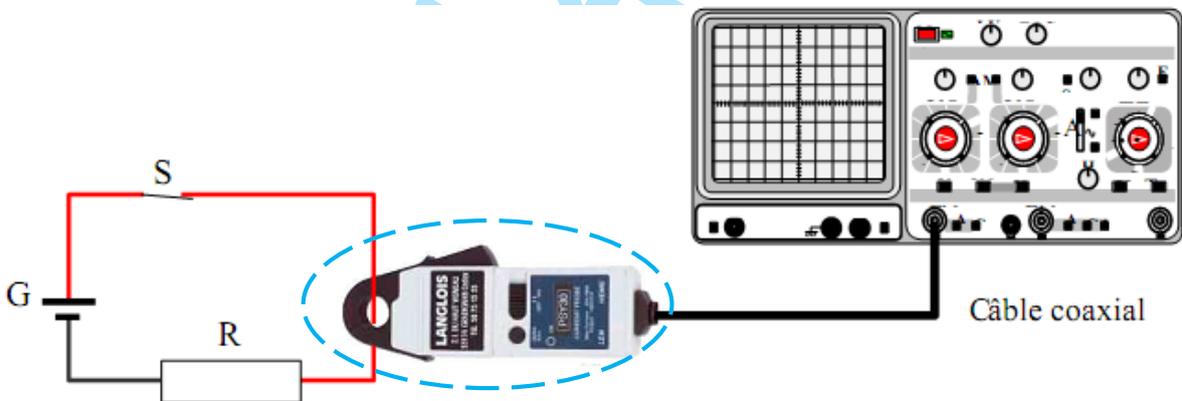
Le signal obtenu est une **droite continue**.
 Pour connaître la valeur de la tension, il faut tenir compte de la sensibilité verticale et de la sonde :

Par exemple : **0,5 V/DIV.**
 Lecture : **2,4 divisions** soit **1,2 V.**
 Or la sonde atténuée de 1/10 donc la tension est de **12,2 V.**

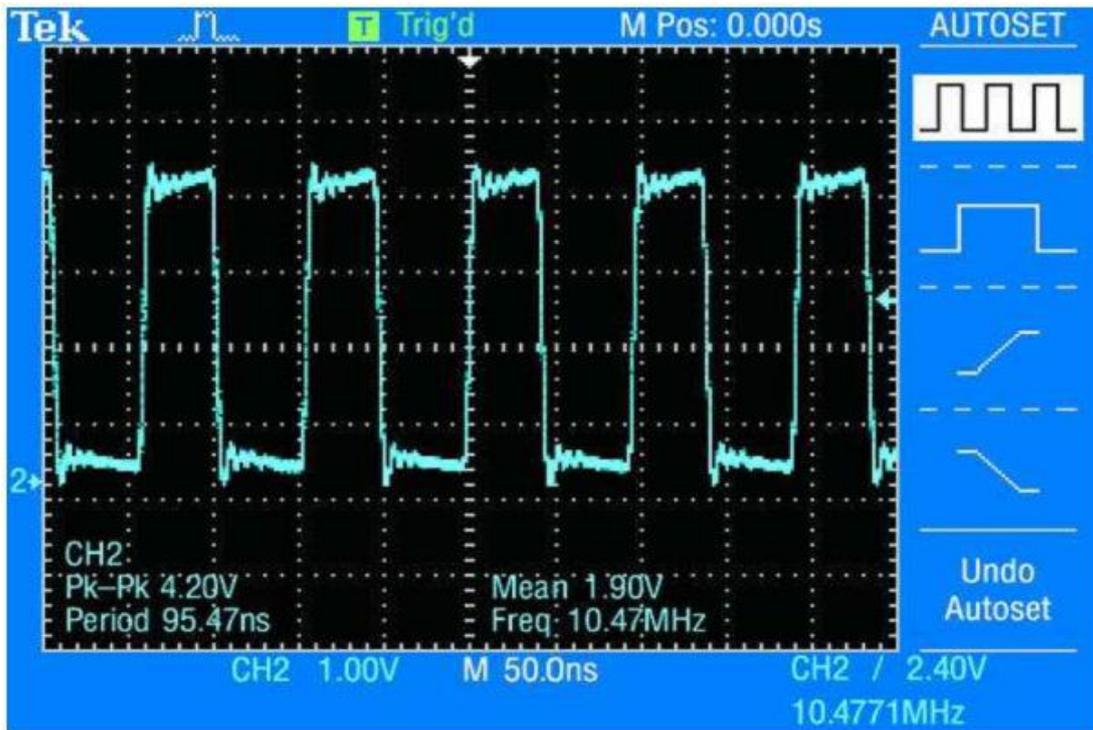


11. VISUALISATION D'UN COURANT ÉLECTRIQUE

De même pour visualiser une intensité électrique continue, on utilise une **sonde de courant** qui délivre une tension image du courant à mesurer et permet de faire les mesures en toute sécurité et, isoler les entrées de l'**oscilloscope**.



VOICI CE QU'ON PEUT VISUALISER SUR L'ÉCRAN D'UN OSCILLOSCOPE NUMÉRIQUE MODERNE : NON SEULEMENT LA FORME DU SIGNAL, MAIS AUSSI, EN CLAIR, SA TENSION CRÊTE-À-CRÊTE (PK-PK), SA TENSION MOYENNE (MEAN), SA PÉRIODE, SA FRÉQUENCE...



Oscilloscope à mémoire multifonction OX 6152E-C

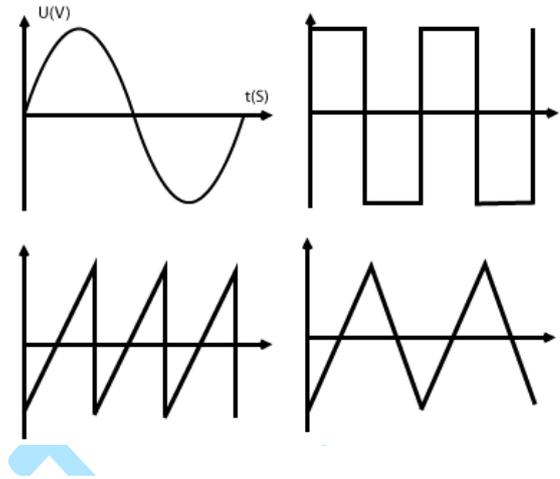
Oscilloscope 3 en 1: oscilloscope, multimètre-enregistreur et analyseur FFT

III. LE GÉNÉRATEUR BASSE FRÉQUENCE : GBF

12. DÉFINITION

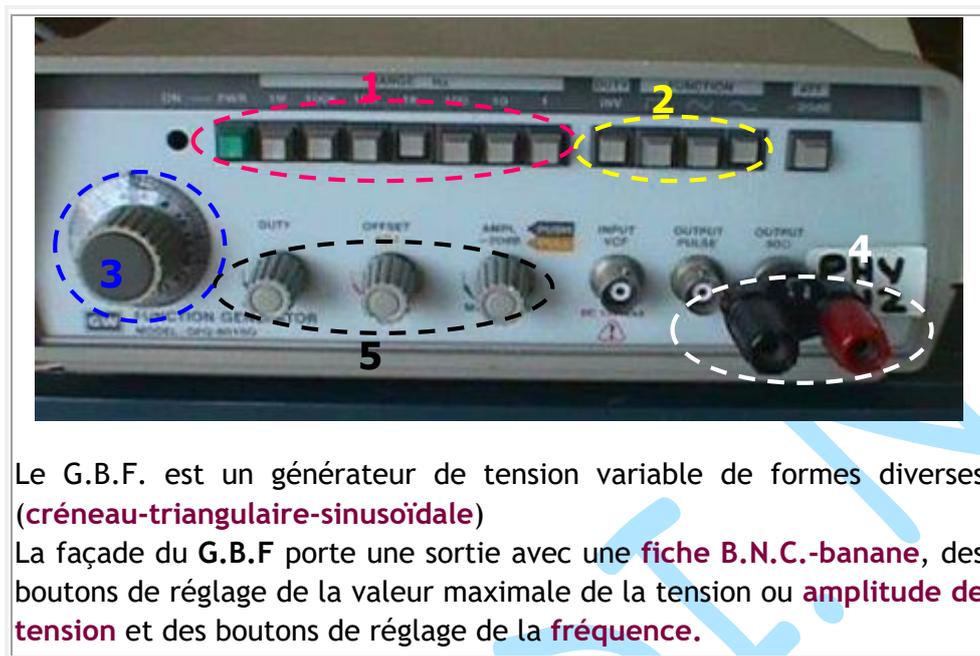
➤ C'est un générateur de tension alternative : il délivre les tensions suivantes :

- Tension en dent de scie ou tension triangulaire,
- Tension en créneau ou tension carrée,
- Tension Sinusoïdale.



- Il génère des signaux alternatifs (carré, sinusoïdale et triangulaire) en sa sortie (**output-50Ω**).
- Pour chaque signal, on peut modifier :
 - ❖ L'amplitude (en agissant sur le bouton "amp»),
 - ❖ La fréquence,
 - ❖ Le rapport cyclique (en agissant sur le bouton "duty").
- On peut également, ajouter au signal de sortie une composante continue variable (en agissant sur le bouton "DC - offset " lorsqu'elle est tirée).
- Le **GBF** possède une deuxième sortie, nommée " **output pulse** ", qui génère un signal carré positif (TTL) d'amplitude fixe **5 V** et de fréquence variable.
- Le **GBF** possède une entrée, qui sert pour signal modulant lorsqu'on veut générer un signal modulé en amplitude ou en fréquence. Cette entrée est utilisée en électronique de communication.
- Les boutons " - 20 dB " et " - 40 dB " servent à atténuer (diminuer) l'amplitude du signal de sortie d'un rapport de **10** ou de **100**. ($20 \text{ dB} = 20. \text{Log}(G) \Rightarrow G = 10^1 = 10$; $40 \text{ dB} = 20. \text{Log}(G) \Rightarrow G = 10^2 = 100$).

13. DESCRIPTION GÉNÉRALE



Le G.B.F. est un générateur de tension variable de formes diverses (**créneau-triangulaire-sinusoïdale**)
 La façade du **G.B.F** porte une sortie avec une **fiche B.N.C.-banane**, des boutons de réglage de la valeur maximale de la tension ou **amplitude de tension** et des boutons de réglage de la **fréquence**.

14. RÉGLAGES

14.1. SÉLECTION DE LA FRÉQUENCE

Ces boutons permettent de sélectionner la gamme de fréquence.

14.2. SÉLECTION DU TYPE DE SIGNAL

Ces boutons permettent de choisir la forme du signal, de l'inverser par rapport à un axe horizontal (touche **INV**) et de l'atténuer d'un rapport de 10 environ (touche **- 20 dB**). Cette dernière touche est utilisée pour la génération des signaux de faible amplitude.

14.3. RÉGLAGE DE LA FRÉQUENCE

Après avoir choisi une gamme de fréquence, on n'a plus qu'à la régler précisément à l'aide de ce bouton.

14.4. LES SORTIES

Il y a deux (2) sorties :

- ✓ Une sortie **TTL** : un signal rectangulaire est généré de **0 - 5V** et seule la fréquence est réglable.
- ✓ Une sortie **50 Ω** : Permet d'obtenir le signal réglé avec les boutons détaillés ci-dessous.

14.5. PARAMÉTRAGE DES CARACTÉRISTIQUES DU SIGNAL

ATTENTION : CES BOUTONS NE SONT UTILISÉS QUE SI LA SORTIE 50 Ω EST UTILISÉE.

- Le bouton " **niveau** " permet tout simplement de régler l'amplitude du signal.
- Le bouton " **décalage** ", s'il est tiré, permet d'ajouter une composante continue au signal. Entre autre, cela permet de rendre un signal uniquement positif (+) ou négatif (-). Si le bouton n'est pas tiré, la fonction " **décalage** " est alors inactive. Le bouton " **symétrie** ", s'il est tiré, permet de faire varier le rapport cyclique d'un signal rectangulaire. Si ce bouton n'est pas tiré, la fonction décalage est alors inactive.

ATTENTION : EN TIRANT SUR CE BOUTON, LA FRÉQUENCE DU SIGNAL EST ALORS DIVISÉE PAR 10. ON N'OUBLIE PAS ALORS DE CHANGER LA FRÉQUENCE SI NÉCESSAIRE.

- Commencez par vérifier que le *bouton d'amplitude "AMPL"* est à mi-course. (pour éviter d'avoir un signal nul)
- Vérifiez ensuite que le bouton "*DUTY*" est à *fond à gauche* (pas de déformation du signal)
- Vérifiez ensuite que le bouton "*OFFSET*" est *complètement enfoncé*. (pas d'ajout d'une tension continue)



Suite des réglages

1. Quand vous utilisez un G.B.F. vous savez quelle doit être **la forme de la tension électrique** à obtenir : le signal est soit "créneau" soit "triangulaire" ou en "dents de scie" soit "sinusoïdal".
Enclenchez le sélecteur correspondant à la forme de tension désirée.



2. Reliez les bornes du G.B.F aux bornes de la voie A de l'oscilloscope, en **reliant les masses entre elles**.(bornes noires)



3. La fréquence de la tension à utiliser est aussi imposée et il vous faut la *régl*er.

Pour cela vous disposez de plusieurs types de boutons.

- les sélecteurs de "choix de gamme de fréquences": ici on a choisi "1K" (sélecteur enclenché)

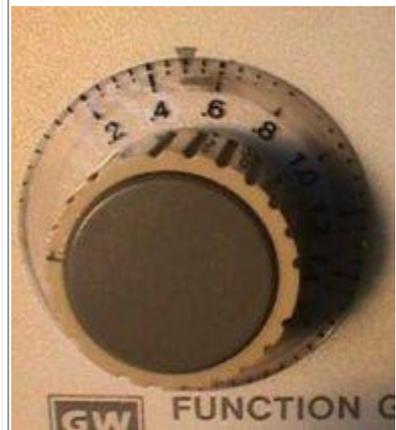


- un bouton de "réglage fin" gradué de 0.2 à 2.0 : ici on a choisi "0.5"

Ceci signifie que la fréquence vaut ici : $f=0.5 \times 1\text{kHz} = 0.5 \times 1000\text{Hz} = 500\text{Hz}$

Mais cette valeur est à vérifier en mesurant la période $T = 1/f$ correspondante avec l'oscilloscope.

(utilisation de la base de temps ou sensibilité horizontale S_H et déviation horizontale X_T .)

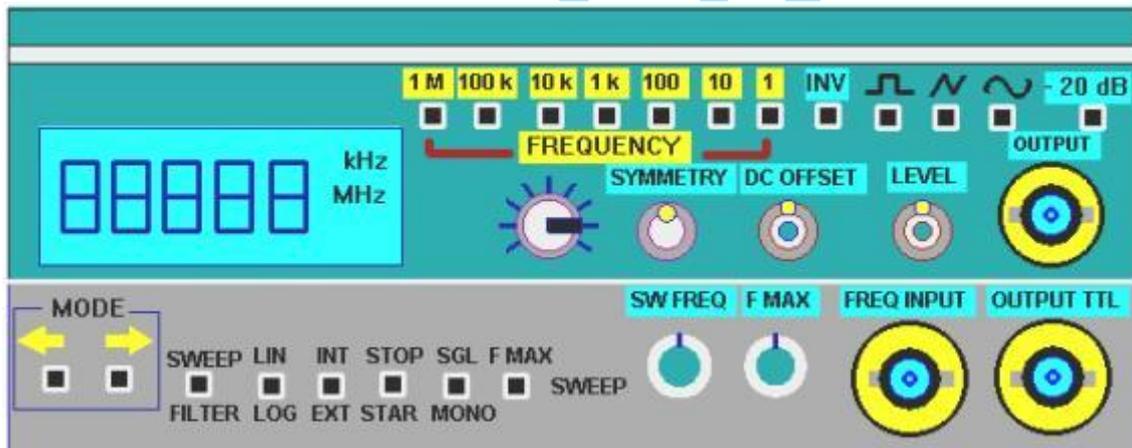


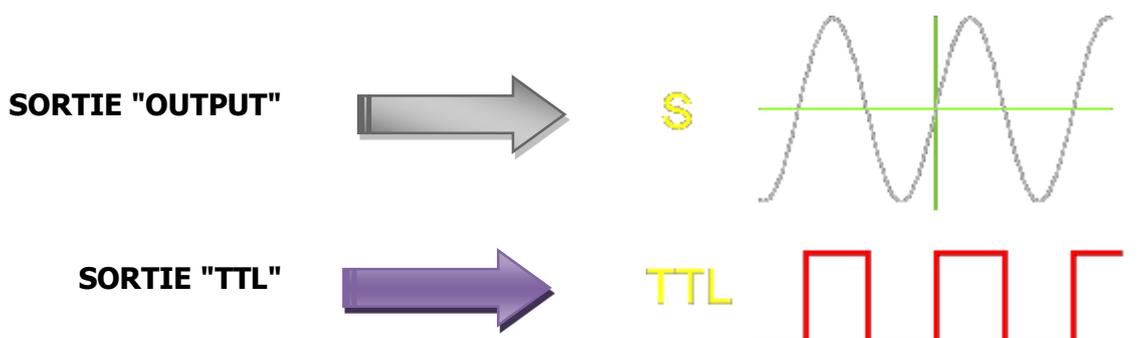
4. Réglage de la **tension maximale ou amplitude de tension**:

Vous utilisez le bouton "**AMPL**" du G.B.F. et vous lisez la valeur de la **déviati** maximale sur l'**oscilloscope**, et vous utilisez la **sensibilité verticale** S_{VA} de l'**oscilloscope**.



15. PRÉSENTATION DE LA FAÇADE





16. FONCTIONNEMENT

16.1. Étape n°1 : Mise sous tension et raccordement

- ✓ Vérifier que l'interrupteur " **POWER** " est sur **OFF** puis brancher le **G.B.F.** sur le secteur.
- ✓ Mettre en marche le **G.B.F.** en appuyant sur " **POWER** ".
- ✓ N'utiliser que la sortie notée " **OUTPUT** " et avec un câble **BNC**.

16.2. Étape n°2 : Vérifications préliminaires

Avant toutes mesures, il faut vérifier que:

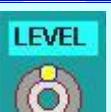
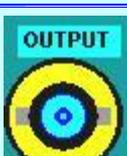
- ✓ Tous les boutons poussoirs sont relâchés.
- ✓ Tous les boutons rotatifs sont en butée à gauche.

16.3. Étape n°3 : Réglages

Pour les réglages de base, il faut choisir :

1. la sélection de la forme de la tension " **FUNCTION** " : carrée, sinusoïdale, triangulaire.
 - L'un de ces boutons doit être obligatoirement enfoncé.
2. la gamme de fréquences désirée " **RANGE (Hz)** " :
 - L'un de ces boutons doit être obligatoirement enfoncé.
3. la valeur exacte de la fréquence par le bouton " **FREQUENCY** " ;
4. la valeur de la tension de sortie par le bouton " **AMPLITUDE** " ;
5. éventuellement, le réglage de l'offset par le bouton " **DC OFFSET** ".

17. ÉLÉMENTS CONSTITUANTS LA FAÇADE DU GBF

Boutons de réglage du G.B.F	Rôle.
Face arrière	Power ON / OFF commutateur « marche-arrêt »
	Affichage de la fréquence. Les symboles des commandes sont rappelés sur l'afficheur.
	Choix de la gamme de fréquence.
	Inversion de la polarité du signal de sortie.
	Choix de la forme du signal de sortie (rectangulaire, triangulaire et sinusoïdale).
	Atténuation de l'amplitude du signal de sortie.
	Réglage de la fréquence du signal de sortie.
	Réglage du rapport cyclique du signal de sortie. (Tirée, cette commande permet d'ajuster la dissymétrie dans le temps du signal de sortie. La fréquence est alors divisée par dix)
	Ajout d'une composante continue au signal de sortie (tirée, cette commande permet de superposer une tension continue réglable au signal de sortie)
	Réglage de l'amplitude du signal de sortie.
	Sortie BNC du signal défini par les commandes précédentes.



LES MÉGOHMMÈTRES

MESURE DES RÉSISTANCES

D'ISOLEMENT

1. LE PROBLÈME DE L'ISOLEMENT EN ÉLECTROTECHNIQUE
2. VÉRIFICATION DE L'ISOLEMENT
3. MESURE D'ISOLEMENT SUR INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES
4. COMMENT FAIRE UNE MESURE D'ISOLEMENT
5. MÉGOHMMÈTRE
 - 5.1. DÉFINITION
 - 5.2. DESCRIPTION DU MÈTRE
 - 5.3. FONCTIONNEMENT
6. APPLICATIONS
 - 6.1. MESURES D'OUTILS ÉLECTRIQUES ET DE PETITS APPAREILS
 - 6.2. TEST DE MOTEURS AC
 - 6.3. TEST DE MOTEURS DC
 - 6.4. TEST DE CÂBLES
7. LOI D'OHM ET ISOLEMENT
 - 7.1. LOI D'OHM POUR COMPRENDRE LE DÉFAUT D'ISOLEMENT D'UN CIRCUIT ÉLECTRIQUE
 - 7.2. MESURER LE DÉFAUT D'ISOLEMENT AVEC UN APPAREIL DE MESURE
 - 7.3. MISE EN MARCHÉ DES MULTIMÈTRES EN MODE MESURE DE RÉSISTANCE / DÉTECTION DE DÉFAUT D'ISOLEMENT
 - 7.4. MODE OPÉRATOIRE POUR SIMULER LE DÉFAUT D'ISOLEMENT

LES MÉGOHMMÈTRES

MESURE DES RÉSISTANCES D'ISOLEMENT

1. LE PROBLÈME DE L'ISOLEMENT EN ÉLECTROTECHNIQUE

A. Un **appareil électrique** (par exemple un fer à repasser) est dit "**bien isolé**" lorsque la résistance entre le circuit électrique (c'est-à-dire l'élément chauffant) et la "masse" est très élevée (par exemple $> 1 \text{ M}\Omega$) : dans ce cas, la masse n'est pas mise sous tension et l'utilisateur ne risque aucune électrocution.

La résistance précédente, mesurée en courant continu, est dite "**résistance d'isolement**".

B. Pour une **machine électrique** à deux (2) circuits indépendants (moteur à courant continu avec enroulements induit et inducteur) il faut que chacun de ces enroulements soit "**bien isolé**" par rapport à la carcasse (reliée généralement à la "terre") mais encore que les deux enroulements soient "**bien isolés**" l'un par rapport à l'autre : dans le cas contraire un courant "parasite" risque de circuler entre eux, de produire un échauffement capable d'aggraver le défaut et de faciliter l'amorçage d'un court-circuit.

C. Dans une **installation électrique** le problème est sensiblement le même :

1. Les fils de la ligne d'alimentation doivent être bien isolés entre eux.
2. L'ensemble de ces fils doit être bien isolé par rapport à la "terre".

D'une façon générale, un **défaut d'isolement** constitue une "dérivation" présentant un grave danger pour :

1. Les personnes (mise sous tension de pièces normalement isolées) ;
2. Le matériel (risques d'incendie, de court-circuit).

Donc, un appareil présente un **défaut d'isolement** lorsqu'une partie du courant étant utile à son fonctionnement s'échappe via sa carcasse métallique par exemple.

2. VÉRIFICATION DE L'ISOLEMENT

A. Un isolant qui se dégrade, c'est une **résistance d'isolement** qui diminue anormalement : il est donc nécessaire de **vérifier régulièrement les résistances d'isolement** des matériels et installations électriques.

Pour un appareil électrique (perceuse par exemple) la mesure s'effectue, sous une tension continue de **500 V** au moins, entre la masse et le circuit électrique (**figure 1**) :

1. Le pôle + du générateur contenu dans l'**ohmmètre** étant relié à la masse ;
2. La prise de courant étant débranchée et ses fiches court-circuitées ;

3. L'interrupteur étant en position " marche ".

Si le corps de l'appareil est en plastique, il faut l'entourer convenablement d'une feuille d'aluminium.



Figure 1 : Mesure de la résistance d'isolement d'une perceuse.

Pour une installation électrique les conditions de mesure sont précisées dans la norme C 15-100 de l'U. T. E.

B. La norme précédente stipule que :

- ⓐ La résistance entre les fils de la ligne d'alimentation,
- ⓑ La résistance entre l'ensemble de ces fils et la terre,

doivent être mesurées sous une tension continue de 500 V au moins (l'installation étant débranchée du réseau d'alimentation) et dans les conditions suivantes :

i. ISOLEMENT PAR RAPPORT À LA TERRE

Le pôle positif (+) du générateur que contient l'ohmmètre est mis à la terre, le pôle négatif (–) est connecté à l'ensemble des fils soigneusement reliés entre eux.

Les appareils récepteurs (lampes, moteurs, etc.) sont laissés en service et les appareils d'interruption (fusibles, interrupteurs, etc.) sont dans leur position de fonctionnement (figure 2) :

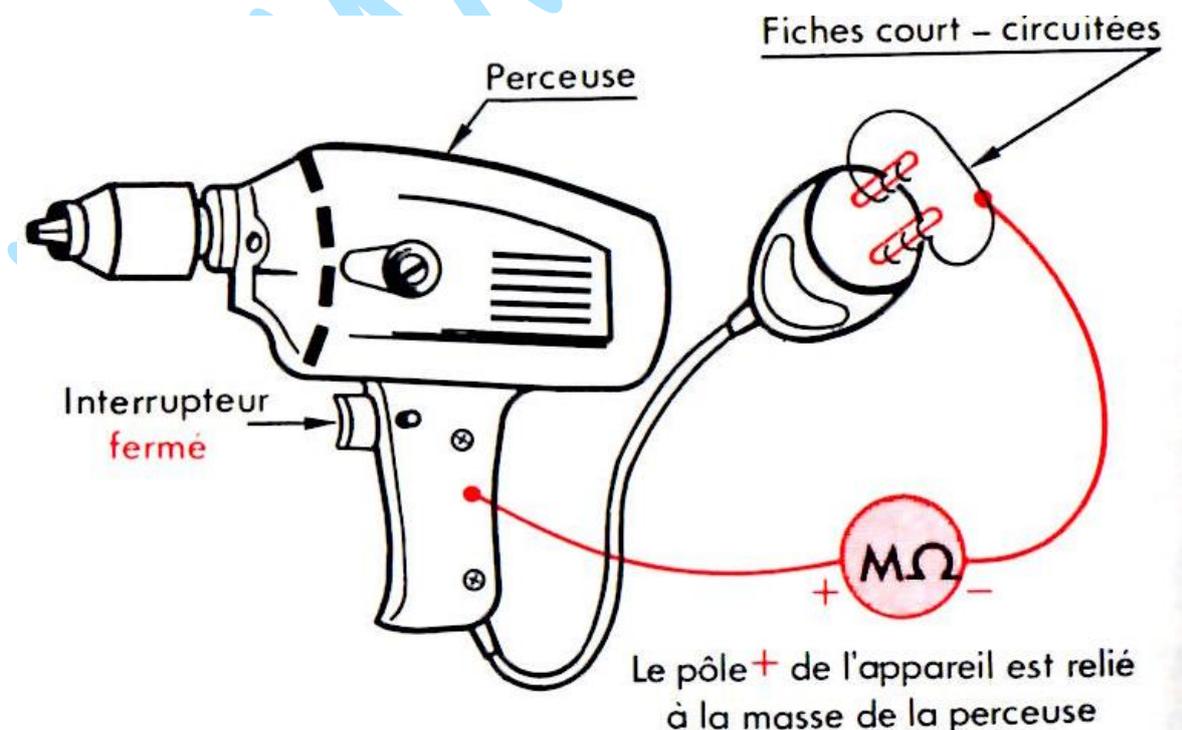


Figure 2 : La résistance d'isolement, mesurée sous 500 V, ne doit pas être inférieure à 2 MΩ.

ii. ISOLEMENT ENTRE CONDUCTEURS

La mesure s'effectue dans les mêmes conditions que précédemment, sauf que les appareils récepteurs sont mis hors service et que les fils de la ligne ne sont pas connectés entre eux (figure 3).

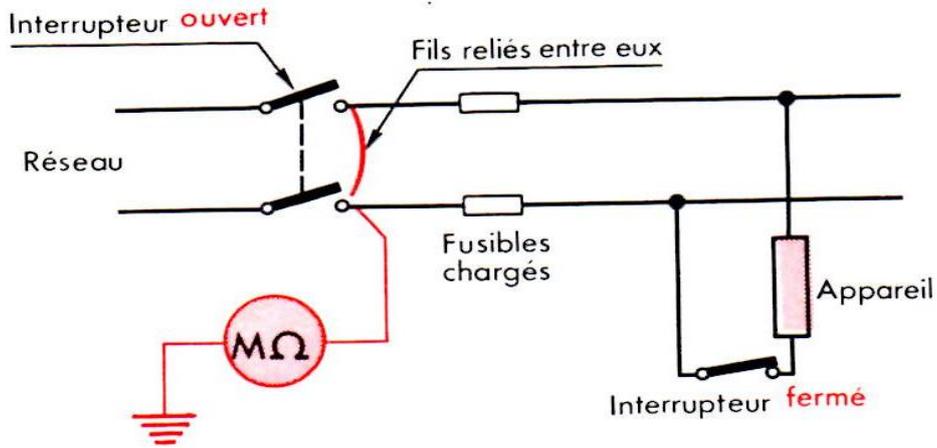
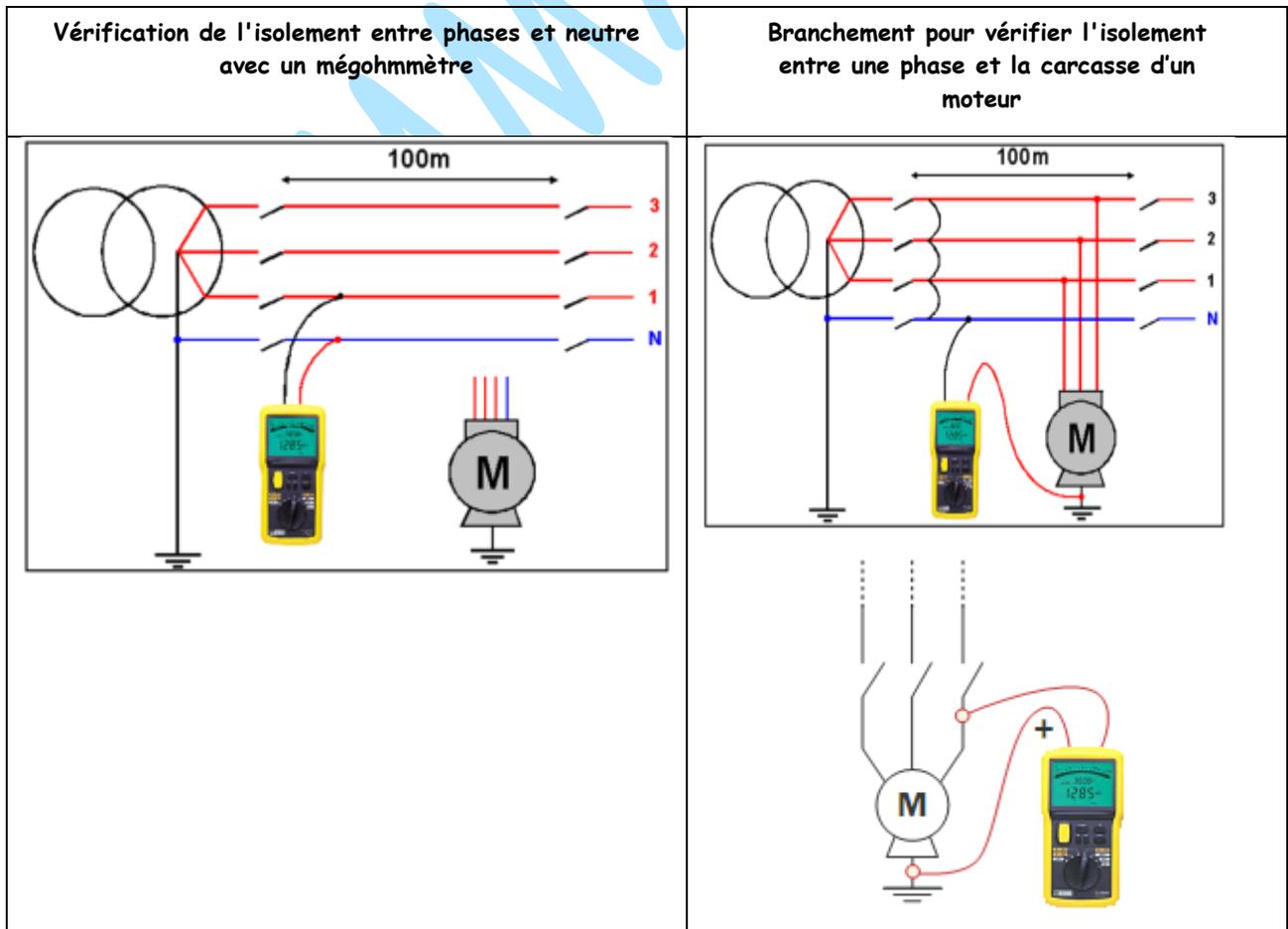


Figure 3 : Mesure d'isolement, par rapport à la terre, d'une installation monophasée.

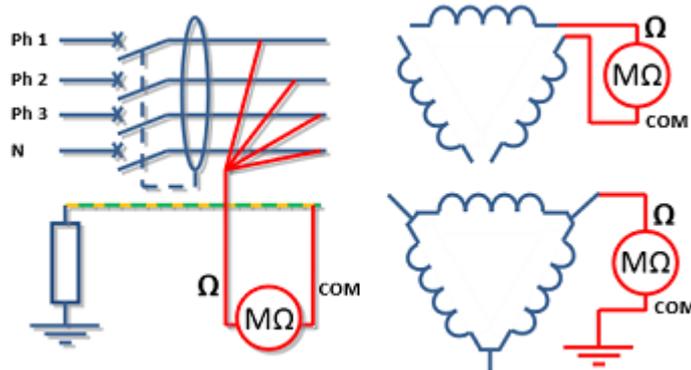
3. MESURE D'ISOLEMENT SUR INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

La fameuse NF C 15-100, qui traite des installations électriques basse tension, précise que la résistance d'isolement doit être mesurée, installation hors tension, sur des tronçons d'une longueur de 100 m :



4. COMMENT FAIRE UNE MESURE D'ISOLEMENT ?

On vérifie tout d'abord que l'installation ou l'appareil soit hors tension puis on mesure l'isolement entre chaque conducteur actif et la terre en appliquant une tension continue à l'élément à tester pendant quelques secondes. Le mégohmmètre en mesurant le courant qui circule sera en mesure de déterminer la **qualité de l'isolement**. Le mégohmmètre fournira des résultats en **KΩ**, **MΩ** ou **GΩ**. Plus la résistance est élevée plus l'**isolant** est considéré comme de bonne qualité, mais cette résistance ne doit pas être infinie.



Deux facteurs peuvent faire varier la **résistance d'un isolant** tout d'abord la température, entre deux mesures si la température monte de plusieurs degrés les résultats seront largement faussés, le deuxième facteur c'est le taux d'humidité, il faudra donc veiller à effectuer des mesures dans des conditions normales de fonctionnement.

On peut effectuer 2 types de mesure d'isolement :

	But de la mesure	Condition de mesure
Entre 2 conducteurs	Vérifier qu'aucun conducteur n'a subi de dommage mécanique lors de l'installation.	La mesure est faite avant la mise en service, récepteurs débranchés, sur une installation hors tension
Entre un conducteur et la terre (PE)	Vérifier que tous les conducteurs sont isolés de la Terre	La mesure est faite avant la mise en service, conducteurs actifs reliés, récepteurs branchés, installation hors tension

Dans tous les cas, Le contrôleur génère une tension continue de **500V** que certains matériels comportant de l'électronique ne supportent pas.

La **NF C 15-100** exige les valeurs minimum ci-contre:

Tensions nominales de l'installation	Tension de test DC	Résistance d'isolement minimum
< 50 V	250 V	≥ 0,25 MΩ
de 50 V à 500 V	500 V	≥ 0,5 MΩ
de 500 V à 1000 V	1000 V	≥ 1 MΩ

5. MÉGOHMMÈTRE

5.1. DÉFINITION

C'est un appareil utilisé sur des installations hors tension pour localiser principalement des défauts sur des câbles, des problèmes de serrage des connexions électriques ...

Après avoir pris le soin de débrancher les appareils sensibles (ordinateurs, etc.),

le **mégohmmètre** injecte une tension de **250/500/1000 V** entre terre/phase et neutre/neutre comme sur le schéma ci-dessous (**figure 4**).

La norme NFC 15-100 dit que pour une tension de **500 Vcc** injectée $R_{\text{isolement}} \geq 0,5 \text{ M}\Omega$.

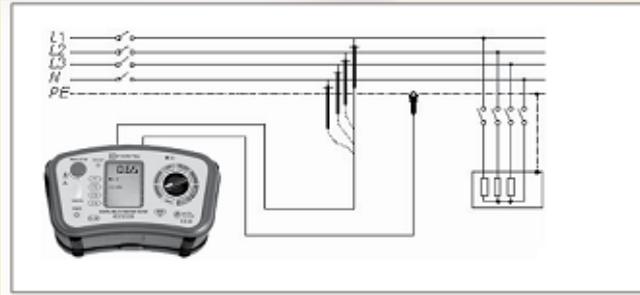
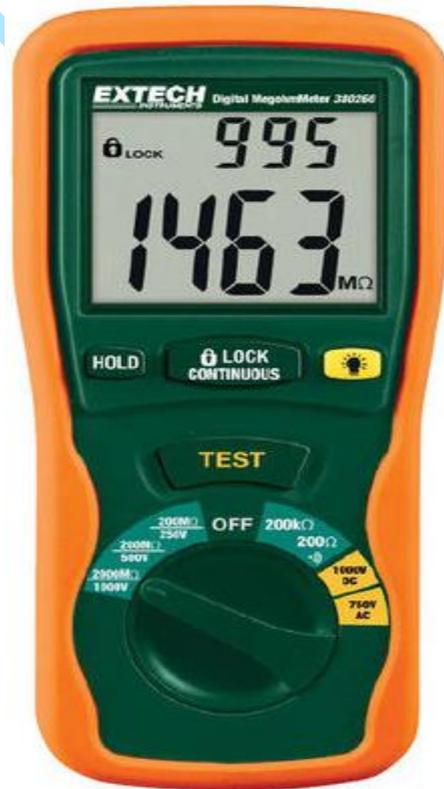
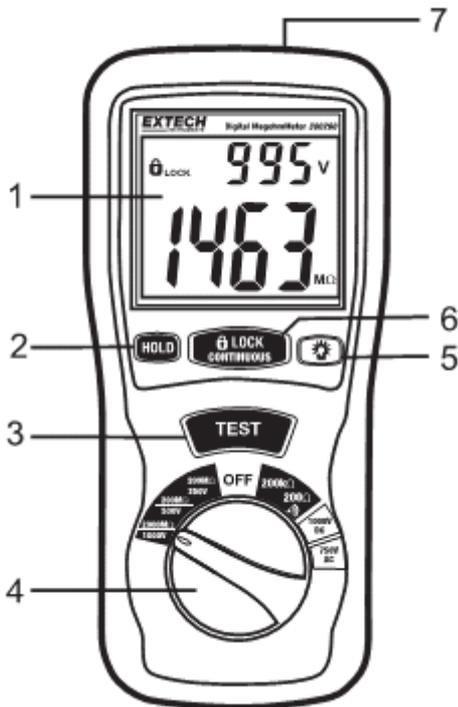


Figure 4 : Position du mégohmmètre.

5.2. DESCRIPTION DU MÈTRE



1	2	3	4	5	6	7
Affichage LCD	Bouton Hold	Bouton Test	Commutateur rotatif	Bouton de rétro-éclairage	Bouton de verrouillage	Bornes d'entrée

5.3. FONCTIONNEMENT

I. Branchement des fils d'essai

Pour effectuer toute mesure, branchez le **fil d'essai rouge** à la borne d'entrée **VΩ** et le **fil d'essai noir** à la borne d'entrée **COM**.

II. Vérification des fils d'essai

1. Positionner le commutateur rotatif sur la gamme **200 Ω** 
2. Faites entrer les extrémités des fils d'essai en contact.
3. La lecture de la résistance doit être inférieure à **0,5 Ω** et la tonalité doit retentir.
4. Lorsque les fils ne sont pas en contact, l'affichage indiquera l'infini représenté par « **1** ».
5. Toute lecture affichée différente des lectures décrites ci-dessus indique l'existence d'un problème au niveau des fils d'essai. Les fils d'essai doivent être remplacés avant toute utilisation du mètre. Le non-remplacement pourrait entraîner des dommages matériels et des risques d'électrocution.

III. Mesures de la résistance d'isolation (Tests du mégohmmètre)

Attention : N'effectuez aucune mesure de la résistance d'isolation si l'appareil testé présente une tension **AC**.

1. Branchez le fil d'essai rouge à la borne d'entrée **VΩ** ; le fil d'essai noir à la borne **COM**.
2. Placez le commutateur de fonctions sur la position de tension de test **MΩ** souhaitée.
3. Branchez les autres extrémités des fils d'essai à l'équipement testé. Si l'équipement présente une tension, un signal sonore constant retentira et la tension sera affichée.
4. L'affichage indiquera « **1** » jusqu'à ce qu'une pression soit exercée sur le bouton **TEST**. Appuyez et maintenez enfoncé le **bouton TEST**. L'affichage supérieur droit indique la tension de test appliquée et le symbole de haute tension  clignotant sera affiché. L'affichage principal indique la résistance.
5. Conservez le branchement des fils d'essai à l'équipement testé et relâchez le bouton **TEST**. Le circuit se déchargera par le biais du mètre. Maintenez le branchement des fils d'essai jusqu'au déchargement complet du circuit et l'indication de **0 volts** dans l'affichage supérieur droit.

IV. Fonction de verrouillage

Utilisez la fonction **LOCK** (Verrouillage) pour une utilisation mains libres.

1. Alors que les fils d'essai sont branchés à l'équipement testé, appuyez simultanément sur les boutons **TEST** et **LOCK**.

2. L'icône LOCK «  LOCK » s'affichera. Un signal sonore retentira toutes les 2 secondes afin d'indiquer que le mètre est en mode de verrouillage.
3. Appuyez sur le bouton **LOCK** pour désactiver la fonction de verrouillage et mettre fin au test.

V. Remarques sur les tests IR (Mégohmmètre)

1. La gamme de mesure maximale du MODÈLE 380260 est de **2000 MΩ**. La résistance d'isolation dépassera souvent cette valeur. Le cas échéant, l'affichage indiquera « 1 », ce qui signifie que la résistance est très élevée et que l'isolation testée est de bonne qualité.
2. Si l'appareil testé est hautement capacitif, l'affichage indiquera une valeur de résistance croissante dans le temps. Patientez jusqu'à ce que la lecture se stabilise avant d'enregistrer la valeur.

VI. Mesure de la tension AC/DC

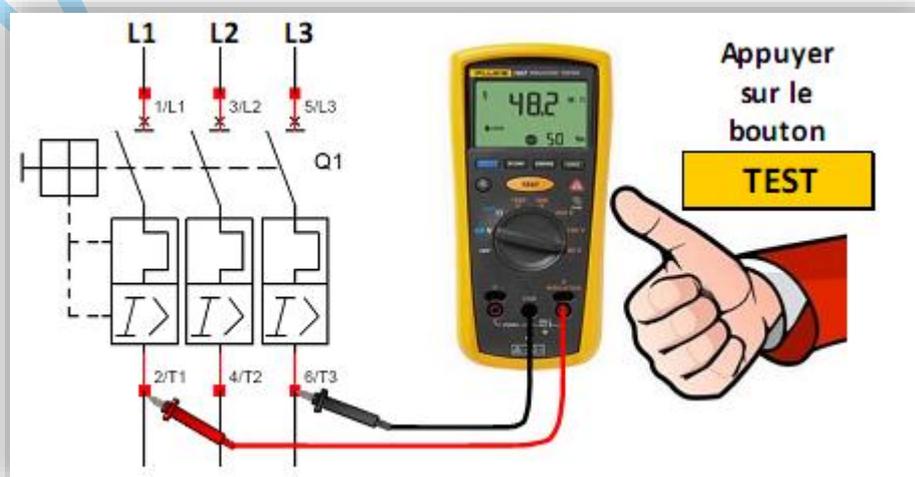
1. Placez le commutateur rotatif sur la position **ACV** ou **DVC**.
2. Branchez le fil d'essai rouge à la borne **VΩ** et le fil d'essai noir à la borne **COM**.
3. Branchez les fils d'essai au circuit en cours de test.
4. Lisez la valeur de tension sur l'affichage LCD.

VII. Mesure de la résistance

AVERTISSEMENT

N'exécutez ce test que si **ACV = 0**. N'utilisez pas ce mode pour vérifier les

1. Positionnez le commutateur rotatif sur **200 kΩ**.
2. Branchez le fil d'essai rouge à la borne **VΩ** et le fil d'essai noir à la borne **COM**.
3. Branchez les extrémités des fils d'essai au circuit testé.
4. Lisez la valeur de résistance affichée.



MESURE DE FAIBLE RÉSISTANCE (CONTINUITÉ)

1. Positionnez le commutateur rotatif sur **200 Ω**. 
2. Branchez le fil d'essai rouge à la borne **VΩ** et le fil d'essai noir à la borne **COM**.
3. Branchez les extrémités des fils d'essai au circuit testé.
4. Lisez la valeur de résistance affichée. Si la résistance d'un circuit est inférieure à environ **40 Ω**, la tonalité retentira.

VIII. Mise hors tension automatique

Afin de préserver la vie des piles, le mètre se met hors tension automatiquement au bout de **15 minutes** d'inutilisation environ. Pour rallumer le mètre, positionnez le commutateur rotatif **OFF**, puis sur la fonction de votre choix.

IX. Fonction HOLD (Maintien des données)

La fonction de maintien des données permet de figer la lecture sur l'affichage. Appuyez un instant sur le bouton **HOLD** pour activer ou quitter la fonction de maintien des données.

X. Rétro-éclairage

Appuyez sur le bouton  pour allumer la fonction de **rétro-éclairage** de l'affichage. Le rétro-éclairage s'éteindra automatiquement au bout de **15 secondes**.

6. APPLICATIONS

6.1. MESURES D'OUTILS ÉLECTRIQUES ET DE PETITS APPAREILS

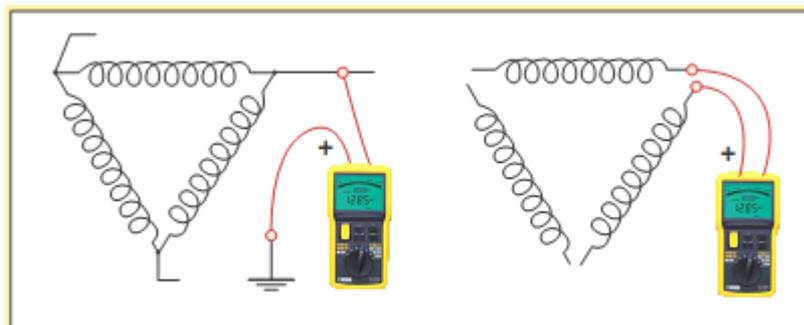
Cette section concerne tout appareil testé muni d'un cordon d'alimentation. Pour les outils électriques à double isolation, les fils du mètre doivent être raccordés au boîtier de l'appareil (mandrin, lame, etc.) et les fiches du cordon d'alimentation.



6.2. TEST DE MOTEUR AC

- Déconnectez le moteur de la ligne en débranchant les fils des bornes du moteur ou en ouvrant l'interrupteur secteur.
- Si l'interrupteur secteur est ouvert, et que le moteur est également muni d'un démarreur, le démarreur doit être maintenu dans la position **ON**. Lorsque l'interrupteur secteur est ouvert, la mesure de la résistance comprendra la résistance du fil du moteur et de tous les autres composants compris entre le moteur et l'interrupteur secteur. Si une faiblesse est relevée, le moteur

et les autres composants doivent être vérifiés séparément. Si le moteur est débranché au niveau de ses bornes, connectez un fil du mètre au logement moteur mis à la masse et l'autre fil à l'un des fils du moteur. Reportez-vous au schéma ci-dessous :



6.3. TEST DE MOTEURS DC

- Débranchez le moteur de la ligne.
- Pour tester la couronne de porte-balai, les bobines inductrices et l'armature, connectez un fil du mètre au logement moteur mis à la masse et l'autre fil à l'un des fils du moteur.
- Si la mesure de la résistance indique une faiblesse, soulevez les balais pour les retirer du commutateur et testez séparément l'armature, les bobines inductrices et la couronne porte-balai (un élément à la fois). Laissez un fil connecté au logement moteur mis à la masse tandis que vous procédez au test des composants du moteur. Cela est également valable pour les générateurs DC.

6.4. TEST DES CÂBLES

- Débranchez le câble testé de la ligne.
- Débranchez l'extrémité opposée du câble afin d'éviter toute erreur pouvant résulter d'une fuite d'un autre équipement.
- Vérifiez chaque conducteur relié à la masse et/ou gaine de plomb en connectant un fil du mètre à la masse et/ou à la gaine de plomb et l'autre fil du mètre à chacun de conducteurs à tour de rôle.
- Vérifiez la résistance de l'isolation entre les conducteurs en raccordant les fils du mètre aux conducteurs par paires.

EXEMPLE DE MÉGOHMMÈTRE ANALOGIQUE

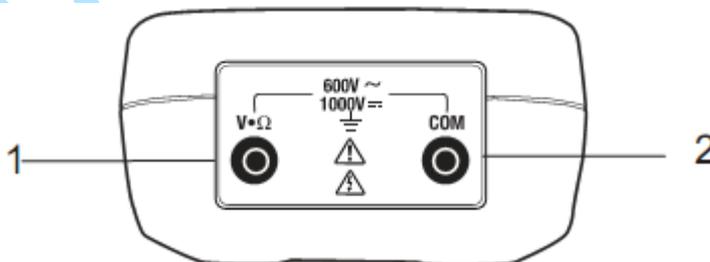
MÉGOHMMÈTRE ANALOGIQUE HAUTE TENSION MODÈLE 380320

DESCRIPTION DE L'APPAREIL

1. Écran analogique.
2. Touche de vérification des piles - Permet de vérifier le niveau de charge des piles (à l'aide de la touche TEST).
3. Touche 0 ADJ - Permet d'ajuster le point zéro de l'écran.
4. Touche de rétro-éclairage - Permet d'allumer le rétro-éclairage.
5. Touche TEST/LOCK - Permet la vérification des piles, de la résistance, et des commandes du mégohmmètre (peut être verrouillée en la tournant dans le sens des aiguilles d'une montre).
6. Bouton de sélection des fonctions - permet de sélectionner la gamme ou la fonction souhaitée.

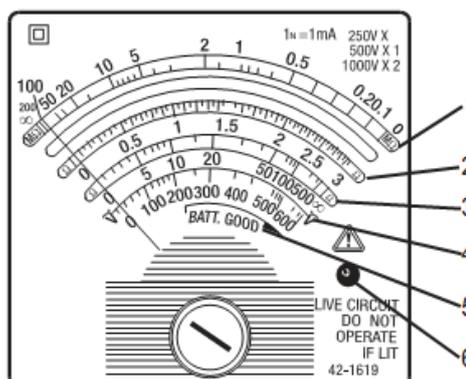
PANNEAU SUPÉRIEUR

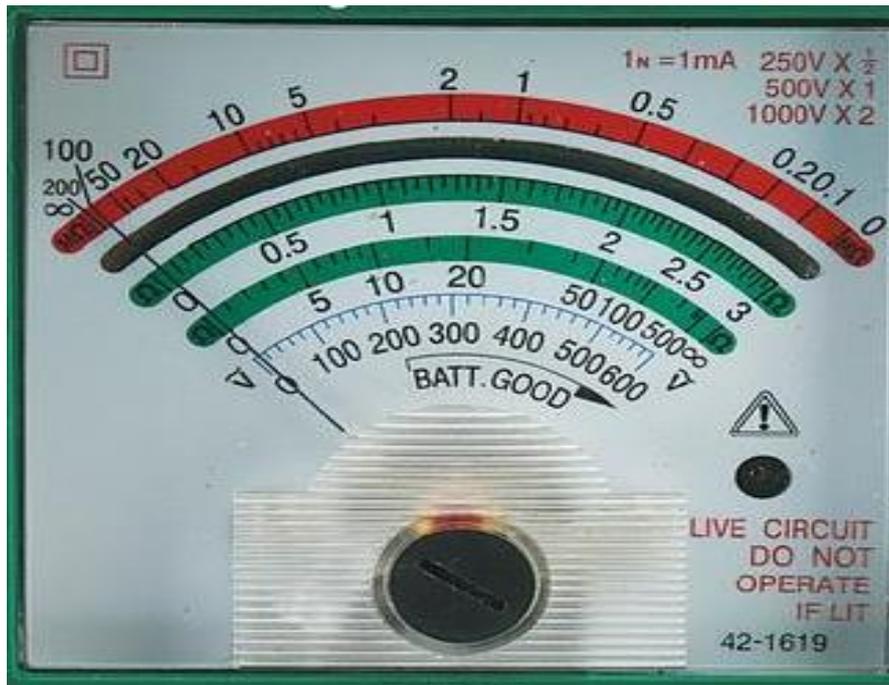
1. Fil d'essai d'entrée V Ω .
2. Fil d'essai d'entrée COM



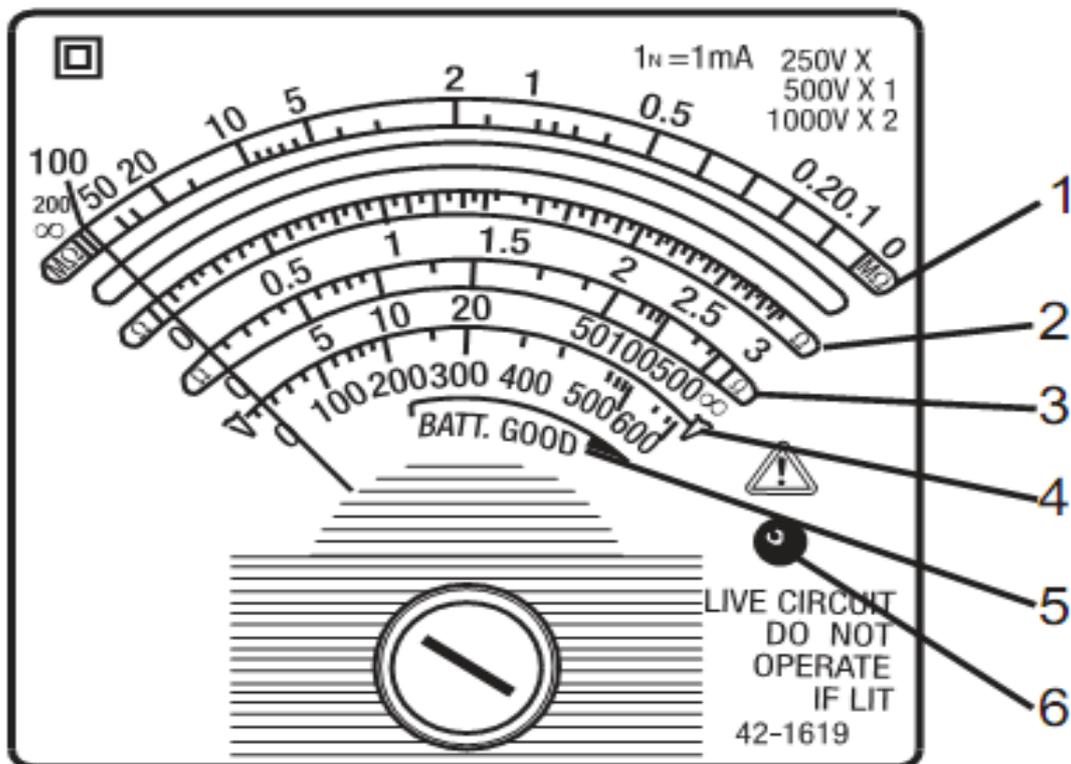
DESCRIPTION DE L'ÉCRAN

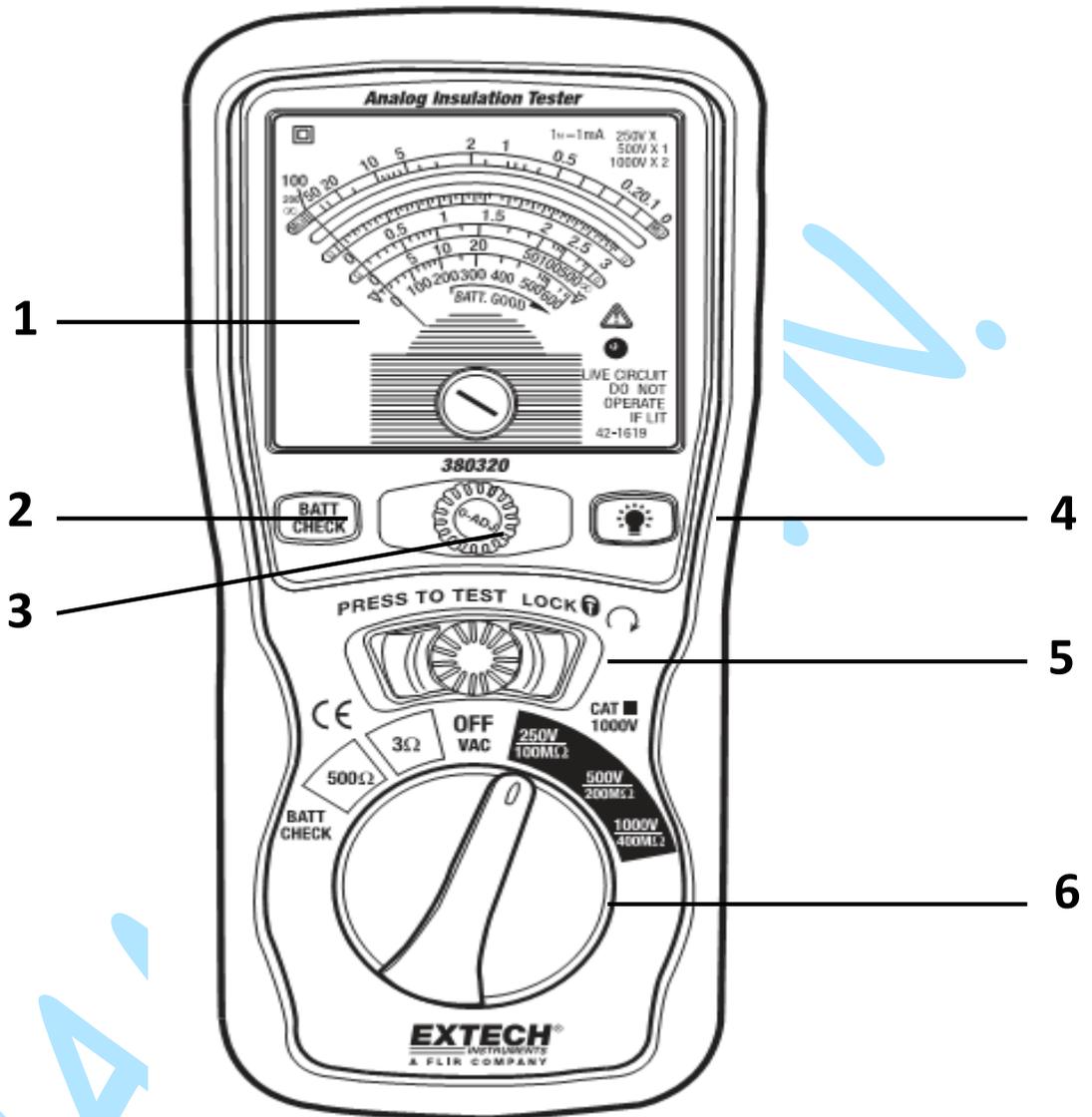
1. Rouge : Echelle du mégohmmètre : Multipliez la lecture par 0,5 (pour une gamme de 250 V), 1 (500 V), 2 (1000 V)
2. Vert : Echelle de faible résistance (0 à 3 Ω)
3. Vert : Echelle de résistance (0 à 500 Ω)
4. Bleu : Echelle de mesure des tensions AC (0 à 600 V)
5. Témoin BATT GOOD (Bon niveau de charge des piles)
6. Témoin LED de circuit sous tension





ZOOM SUR L'ÉCRAN





HA



APPLICATIONS

APPLICATION 1 : ANALYSE DE RÉSULTAT

Lors de la mesure de la résistance d'un convecteur, le résultat donné par l'appareil de mesure est de **0Ω**, on a effectué cette mesure en sortie du disjoncteur alimentant ce convecteur et on trouve la même valeur, que signifie ce résultat ?

- La résistance est en court-circuit.
- La résistance est en circuit ouvert (le courant ne passe plus).
- Ce résultat est normal, la résistance fonctionne correctement.

APPLICATION 2 : TEST DE CONTINUITÉ

Un test de continuité du conducteur **PE** a donné comme résultat **1,5Ω**, que peut-on conclure ?

- L'installation du point de vue PE est non conforme
- L'installation du point de vue PE est conforme

APPLICATION 3 : MESURE D'ISOLEMENT

Je dois effectuer une mesure d'isolement avant la mise en service de l'installation dont la tension d'alimentation est de 400 V . Donner le nom des appareils de mesure qui peuvent être utilisés, le calibre sur lequel vous devez le régler ainsi que la résistance minimum d'isolement donnée par la NFC 15-100 ?	Je dois effectuer une mesure d'isolement avant la mise en service de l'installation dont la tension d'alimentation est de 24 V . Donner le calibre sur lequel vous devez le régler l'appareil de mesure ainsi que la résistance minimum d'isolement donnée par la NFC 15-100 ?	
<input type="text" value="500 V"/>	<input type="text" value="Contrôleur d'installation"/>	<input type="text" value="0,25 MΩ"/>
<input type="text" value="250V"/>	<input type="text" value="Mégohmmètre"/>	<input type="text" value="0,5 MΩ"/>

APPLICATION 4 : ANALYSE DE RÉSULTAT POUR LA MESURE D'ISOLEMENT

Les résultats de la mesure d'isolement entre les enroulements d'un moteur asynchrone triphasé sont les suivants :

Enroulement 1 et carcasse	Enroulement 2 et carcasse	Enroulement 3 et carcasse	Enroulement 1 et 2	Enroulement 2 et 3	Enroulement 1 et 3
2,2MΩ	2,7MΩ	0,2MΩ	2MΩ	1,2MΩ	0,2MΩ

L'isolement du moteur est-il correct ?

Oui Non

APPLICATION 5 : PROCÉDURE POUR LA MESURE D'ISOLEMENT

Vous devez réaliser la mesure d'isolement d'un moteur, remettre la procédure à suivre dans l'ordre :

- Mettre le système Hors Tension et déconnecter le moteur
- Repérer sur le schéma puis sur le système l'emplacement du moteur
- Effectuer les mesures
- Régler le contrôleur d'installation sur Isolement à la tension adéquat
- Analyse des résultats et conclusion.

APPLICATION 6 : MESURE DE TERRE

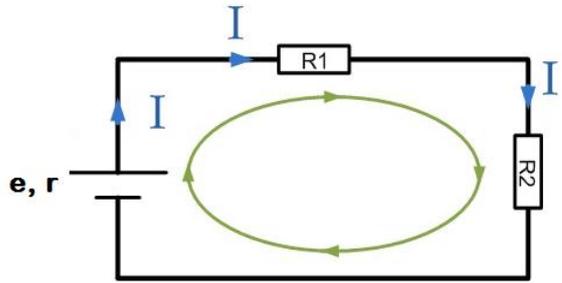
Quelle est la valeur maximale autorisée pour une prise de terre ?

<input type="checkbox"/> 20Ω	<input type="checkbox"/> 30Ω	<input type="checkbox"/> 100Ω	<input type="checkbox"/> 150Ω
------------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

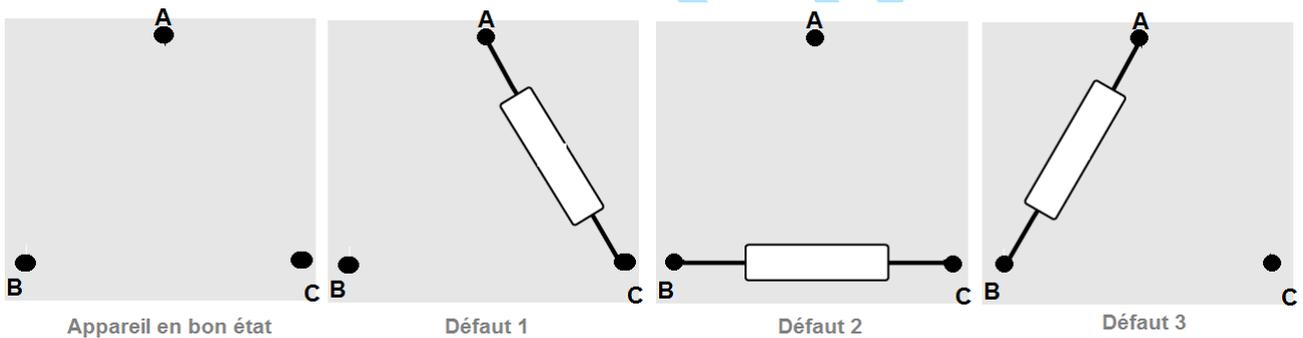
EXERCICE : RECHERCHE D'UN DÉFAUT D'ISOLEMENT

1) **MONTAGE DIVISEUR de TENSION** : Une pile de f. e. m e et de résistance r alimente deux résistances R_1 et R_2 disposées en série.

- Exprimer la tension $U = V(A) - V(B)$ aux bornes de R_2 en fonction de e , r , R_1 et R_2 .
- Que devient U si R_1 est infini et R_2 fini ?
- Que devient U si R_1 est fini et R_2 infini ?



- 3) **RECHERCHE D'UN DÉFAUT D'ISOLEMENT** : Un appareil comporte trois réseaux formés de fils de très faibles résistances, qu'on peut schématiser par trois points **A**, **B** et **C**. Si l'appareil est en bon état, ces trois points sont isolés. Mais il peut y avoir aussi un défaut d'isolement, que l'on peut schématiser par une résistance finie située entre deux de ces points :



Pour rechercher s'il existe un ou plusieurs de ces défauts d'isolement, on branche entre deux des points **A**, **B** et **C** un générateur de force électromotrice $e = 2,2 \text{ V}$ et de résistance interne $r = 0,1 \Omega$ et un voltmètre de résistance $R_V = 30\,000 \Omega$ et on lit la tension U affichée par le voltmètre :

- si le générateur est branché entre **A** et **B**, tandis que le voltmètre l'est entre **B** et **C**, alors $U = 0,2 \text{ V}$; que peut-on en déduire sur la position des défauts d'isolement possibles ?
- si le générateur est branché entre **A** et **B**, tandis que le voltmètre l'est entre **A** et **C**, alors $U = 0 \text{ V}$; que peut-on en déduire sur la position des défauts d'isolement possibles ?
- si le générateur est branché entre **B** et **C**, tandis que le voltmètre l'est entre **A** et **C**, alors $U = 0 \text{ V}$; que peut-on en déduire sur la position des défauts d'isolement possibles ?
- En déduire où se trouve le (ou les) défaut d'isolement et sa (ou ses) valeur.

7. LOI D'OHM - ISOLEMENT -

7.1. LOI D'OHM POUR COMPRENDRE LE DÉFAUT D'ISOLEMENT D'UN CIRCUIT ÉLECTRIQUE

$$U = R \times I \quad \text{d'où} \quad I = \frac{U}{R}$$

Si $R = \infty$ et $U = 220 \text{ V}$ alors $I = 0 \text{ A}$

Un circuit isolé électriquement possède donc une **résistance infinie** au passage du courant. Techniquement, une **résistance infinie** peut se matérialiser par une distance entre deux matériaux conducteurs qui ne sont pas reliés.

Lorsque cette **résistance** diminue, le passage du courant est autorisé, et l'**isolement** est rompu: on parle alors de **continuité**, le contraire de l'**isolement**. S'il y a **continuité**, il y a donc un **défaut d'isolement**.

Pour mesurer un **défaut d'isolement** sur un circuit électrique, il suffit de mesurer la résistance entre deux points de ce circuit: Si cette **résistance** est **infinie**, il y a **isolement total**, sinon, il y a un **défaut d'isolement**.

7.2. MESURER LE DÉFAUT D'ISOLEMENT AVEC UN APPAREIL DE MESURE

Dans cet exemple, on utilise deux multimètres (**figure A**), un de premier prix (**multimètre N°1**), l'autre de qualité professionnelle (**multimètre N°2**), celui qu'on utilise tous les jours, le modèle **Fluke T5-600**.

Pour simuler le **défaut d'isolement**, on utilise une prise d'alimentation (**figure B**) avec les trois fils électriques - terre, phase et neutre - dénudés.



Figure A



Figure B



Les deux multimètres possèdent un ou plusieurs calibres pour mesurer la **résistance** ou l'**isolement**. Dans le cas du **multimètre N°1**, il y a plusieurs calibres de mesure. Pour mesurer l'**isolement**, il faut se placer sur le plus petit calibre de l'ohmmètre : Ce calibre sert à **mesurer la continuité** (ou le **défaut d'isolement**), grâce à un signal sonore. On peut voir sur l'image (**figure C**), qu'au niveau du **200**, il y a un signal en forme d'onde au dessus. C'est sur ce calibre qu'il faut se positionner pour détecter un **défaut d'isolement**.

Figure C

Avec le multimètre professionnel (**figure D**), il n'y a qu'un seul calibre qui fait office de fonction ohmmètre et de test de continuité. De la même façon que le multimètre classique (N°1), il y a un symbole qui indique l'émission d'un son pour signaler le **défaut d'isolement** (ou la **continuité**).



Figure D

7.3. MISE EN MARCHÉ DES MULTIMÈTRES EN MODE MESURE DE RÉSISTANCE / DÉTECTION DE DÉFAUT D'ISOLEMENT

Mettre les deux multimètres dans la position **défaut d'isolement** sans toucher les deux bornes de mesures :

✎ Pour le multimètre N° 1 (classique), la valeur qui s'affiche (**figure E**) est un 1 suivi d'espaces et d'un point (1 .) : cela signifie que la **résistance mesurée** est hors calibre, donc supérieure au calibre de 200 Ω . Si on augmente le calibre, ce "1" reste affiché. La **résistance mesurée** entre les deux bornes de test est **infinie** : C'est le cas où les deux bornes ne se touchent pas. Si on fait toucher les deux bornes, un son est émis pour signaler la **continuité** et la **résistance affichée** est proche de 0.



✎ Pour le multimètre N° 2 (professionnel), il n'y a qu'un seul calibre. Lorsque l'**isolement** est total, et la **résistance infinie**, la valeur lue est **OL** (**figure F**), qui indique l'**absence de continuité**.



Figure E



Figure F

7.4. MODE OPÉRATOIRE POUR SIMULER LE DÉFAUT D'ISOLEMENT

Pour simuler un **défaut d'isolement**, on utilise la fiche d'alimentation électrique, et on réalise les tests aux bornes de cette prise en utilisant les deux multimètres :

- ② Dans un premier temps, pas de **défaut d'isolement** : aucun conducteur ne se touche et on relève la valeur de la **résistance**.
- ② Dans un second temps, on fait un contact entre **phase** et **terre** ou **phase** et **neutre**, afin de créer un **défaut d'isolement** et on mesure de la **résistance**.

i. MESURE DE RÉSISTANCE SANS DÉFAUT D'ISOLEMENT

Sans **défaut d'isolement**, aucun des fils électriques ne se touchent. La mesure effectuée aux bornes de la prise électrique donne une valeur de **résistance infinie** (figure G et H).

ii. MESURE DE RÉSISTANCE AVEC DÉFAUT D'ISOLEMENT

On fait toucher la **terre** avec un des fils et on réalise la mesure entre **terre-phase** et **terre-neutre**. La détection se fait: L'appareil se met à sonner pour signaler la continuité (**défaut d'isolement**) et la valeur de la **résistance** s'affiche, très proche de **ZÉRO (0)** :

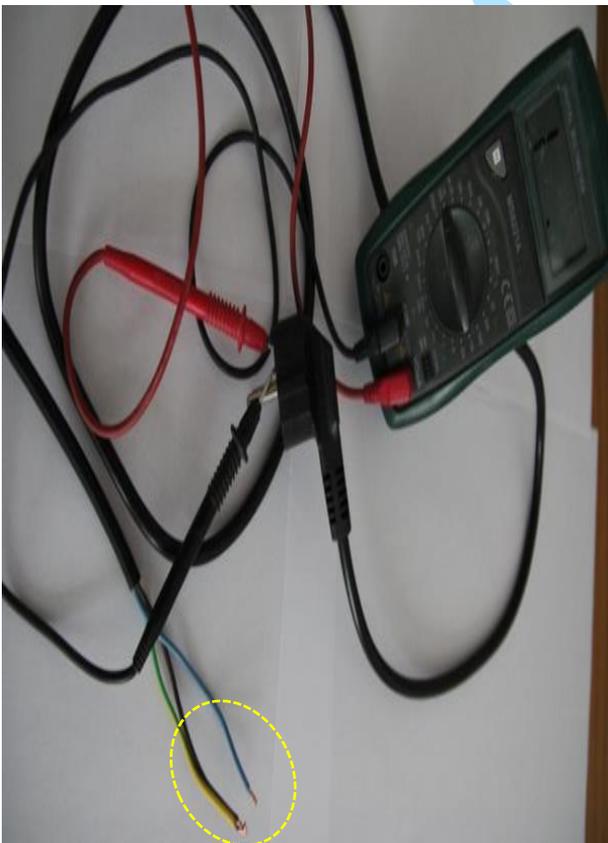


Figure G : Résistance infinie, pas de continuité sur le circuit électrique.

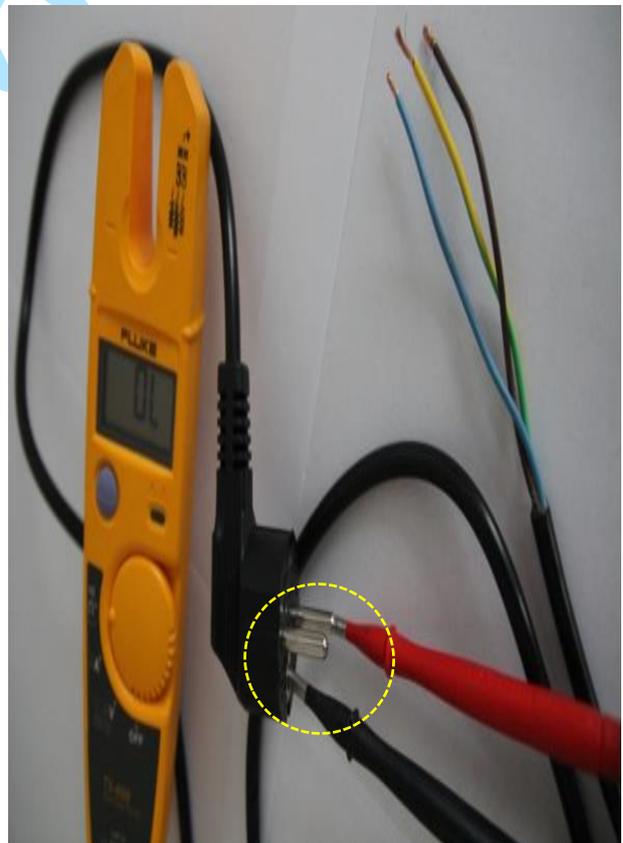


Figure H : Résistance infinie, pas de défaut d'isolement.



Figure I : Résistance quasi-nulle, le courant passe. Il y a défaut d'isolement.



Figure J : Défaut d'isolement entre la phase et le neutre.

UN CAS CONCRET : DÉFAUT D'ISOLEMENT D'UNE MACHINE À LAVER

LA MACHINE À LAVER FAIT DÉCLENCHER L'INTERRUPTEUR DIFFÉRENTIEL?

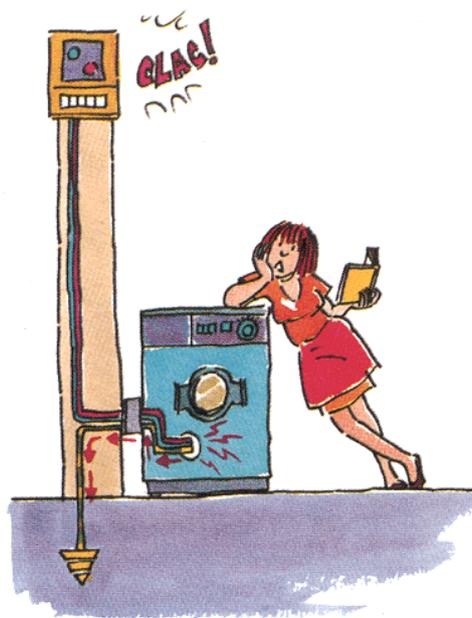
L'**isolement** entre la **phase** (ou le **neutre**) et la **terre** est rompu. En effet, en temps normal, la **phase** (ou le **neutre**) ne sont pas reliés à la **terre** : l'**isolement** entre les deux fils est total (la **résistance** est infinie). Si la **phase** se met à toucher la **carcasse** de la machine à laver (qui est reliée à la **terre**) la fuite de courant est détectée par l'interrupteur différentiel qui déclenche et met l'installation électrique en sécurité.

Pour être sûr que le problème vient de la machine à laver, il faut mesurer la **résistance** qui existe entre la **phase** (ou le **neutre**) et la **carcasse métallique** de la machine.

Si cette **résistance** est différente de l'infini (**0L** indiqué sur l'appareil de mesure), cela signifie que la **machine est défectueuse**, et qu'on est en présence d'un **défaut d'isolement**.

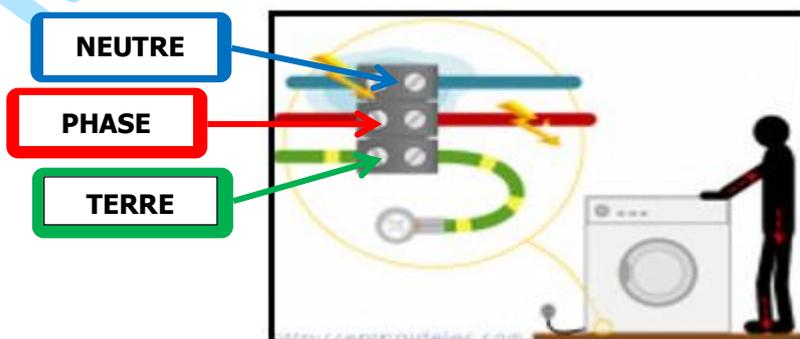
Pour faire cette mesure, on peut **débrancher** la machine à laver, et faire la mesure aux bornes de la prise, de la même façon que dans l'exemple précédent : Si on entend un son (ou la mesure donne une **résistance quasi nulle**) entre la borne de phase ou de neutre de la prise, et la fiche de terre de la prise, c'est qu'on a un **défaut d'isolement** au niveau de l'appareil.

On peut également tester la **continuité** entre la **carcasse métallique** de la machine et la **fiche de terre** de la prise électrique de l'appareil: un son doit être émis: c'est la preuve que la partie métallique de la machine à laver est reliée à la **terre** pour permettre l'évacuation du **courant de défaut** vers la **terre**, et non à travers notre corps.



ET SI ON NE DÉTECTE PAS DE DÉFAUT AU NIVEAU DE MA MACHINE?

Alors cela signifie que ce n'est pas au niveau de la machine, mais du circuit électrique qui concerne la machine à laver.

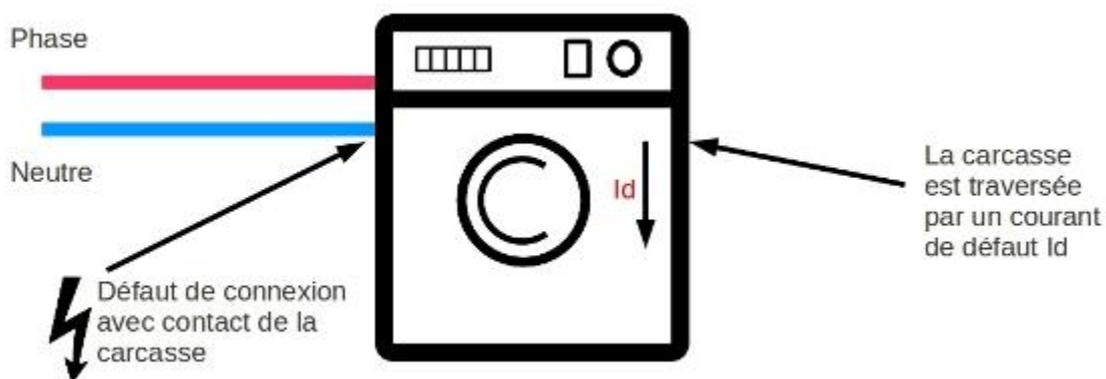


FUITE DE COURANT DANS UNE MACHINE À LAVER NON CONNECTÉE À LA TERRE

On prend l'exemple d'une machine à laver (c'est un cas fréquent). Le moteur et le tambour de la machine à laver créent beaucoup de vibrations. Il se peut qu'à force, au niveau de

l'alimentation, un des conducteurs électrique comme la **phase** se détache un peu (ou se cisaille légèrement). Si ce fil électrique touche la carcasse métallique, le courant va s'écouler dans cette carcasse.

Si cette même carcasse n'est pas reliée à la terre, le courant trouvera un " moyen de s'échapper ", une personne touchant la machine à laver par exemple. Le courant électrique de fuite va s'échapper par le corps de la personne en question, en créant plus ou moins de dégâts selon l'intensité.



**EN CAS DE CONTACT AVEC LA MACHINE,
C'EST L'ÉLECTRISATION ASSURÉE.**

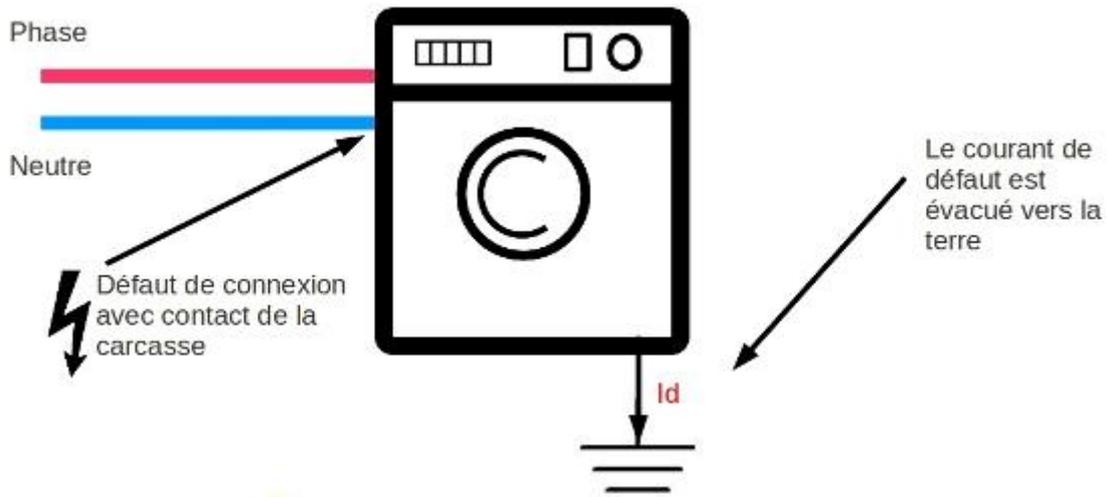


FUITE DE COURANT DANS UNE MACHINE À LAYER CONNECTÉE À LA TERRE

Si cette carcasse de machine à laver est reliée à la terre (via la prise électrique), le courant va passer par le conducteur de terre pour s'écouler. La personne touchant la carcasse ne recevra donc pas le courant (en théorie, car en pratique il se peut qu'il y ait un résiduel de courant mais très faible).



**EN CAS DE CONTACT AVEC LA MACHINE,
LA PERSONNE NE RISQUE PAS
L'ÉLECTRISATION.**



LA MISE À LA TERRE DE L'INSTALLATION ÉLECTRIQUE SERT DONC À PROTÉGER LES PERSONNES DANS L'HABITATION CONTRE LES FUITES DE COURANT ÉLECTRIQUE.