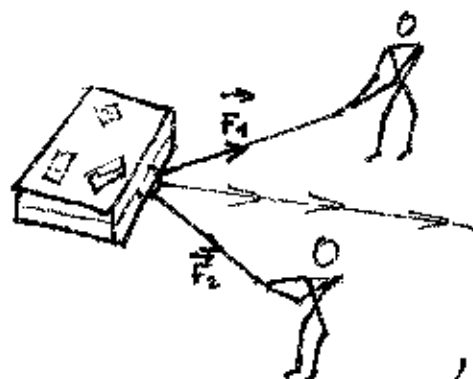


## Vecteurs

Imaginez deux personnes qui tirent avec une ficelle sur un objet, une valise par exemple, posée sur le sol.



L'effort qui provoquera le déplacement de la valise est la résultante des forces transmises par chacune des personnes par l'intermédiaire de la ficelle.

L'effort sur la valise dépend à la fois de la position des personnes et de la force avec laquelle elles tirent.

On sent bien à travers cet exemple que la force est une grandeur qui ne s'additionne pas comme les poids sur une balance ou les litres d'eau qu'on met dans une baignoire pour la remplir.

La force est caractérisée par une direction (matérialisée par la ficelle tendue), le point d'application (sur la poignée de la valise) et par son intensité. En plus les forces ne s'additionnent pas algébriquement, la force résultante a une direction intermédiaire entre les deux ficelles.

Pour modéliser mathématiquement les grandeurs telles que les forces on a inventé les vecteurs.

Un vecteur c'est un segment orienté, caractérisé par son origine, sa direction, et son module (sa longueur).



Ex : le vecteur  $\vec{AB}$  a pour origine le point A et pour extrémité B ; son module est la longueur AB

Vecteurs équivalents  
colinéaires :

Deux vecteurs sont ~~colinéaires~~ <sup>équivalents</sup> s'ils ont même direction, même module et même sens.

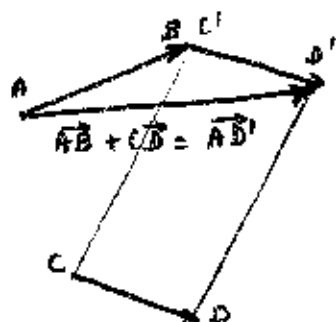


$\vec{AB} \sim \vec{CD}$  (lire vecteur AB <sup>équivalent</sup> colinéaire au vecteur CD).

$\vec{AB}$  et  $\vec{CD}$  sont parallèles.

## Addition de deux vecteurs

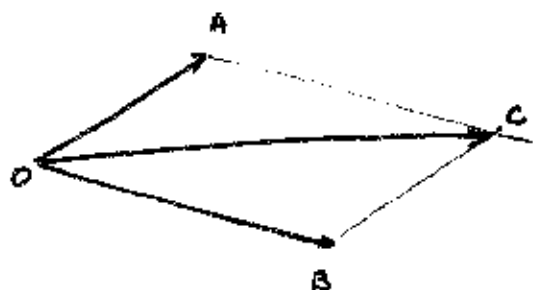
Pour ajouter le vecteur  $\vec{CB}$  au vecteur  $\vec{AB}$  on met "au bout" de  $\vec{AB}$  un vecteur  $\vec{C'D'}$  colinéaire à  $\vec{CB}$ . La somme est  $\vec{AD'}$  équivalent



$$\vec{CB} \sim \vec{C'D'}$$

$$\vec{AD'} = \vec{AB} + \vec{CB}$$

On peut aussi utiliser la règle du parallélogramme : pour des vecteurs qui ont même origine la somme est la diagonale du parallélogramme construit à partir des deux vecteurs



$$\vec{OC} = \vec{OA} + \vec{OB} \quad OACB \text{ est un parallélogramme}$$

$$\vec{OA} \sim \vec{BC} \quad \vec{OB} \sim \vec{AC}$$

## Vecteurs opposés - soustraction de deux vecteurs

Deux vecteurs sont opposés si leur somme est nulle ; ils ont même direction, même module mais sont de sens opposé



$$\vec{AB} = -\vec{BA}$$

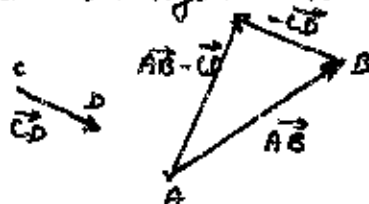


$$\vec{AB} + \vec{BA} = \vec{0} \quad (\text{vecteur nul})$$

$\vec{BA}$  est l'opposé de  $\vec{AB}$

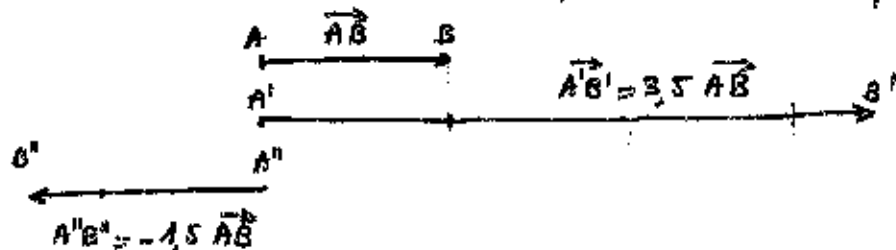
Pour retrancher un vecteur on ajoute son opposé

$$\vec{AB} - \vec{CD} = \vec{AB} + \vec{DC}$$



## Multiplication d'un vecteur par un nombre

Pour multiplier un vecteur par un nombre positif on conserve la direction et le sens et on multiplie le module par le nombre



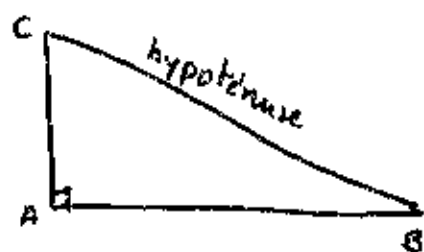
## Exemples de grandeurs vectorielles

En physique on rencontre beaucoup de grandeurs vectorielles comme :

- les forces
- les couples (efforts de rotation)
- les vitesses
- les champs électriques
- les champs magnétiques
- les fonctions sinusoïdales

## Théorème de Pythagore

Dans un triangle rectangle (ayant un angle droit)  
le côté opposé à l'angle droit s'appelle l'hypoténuse

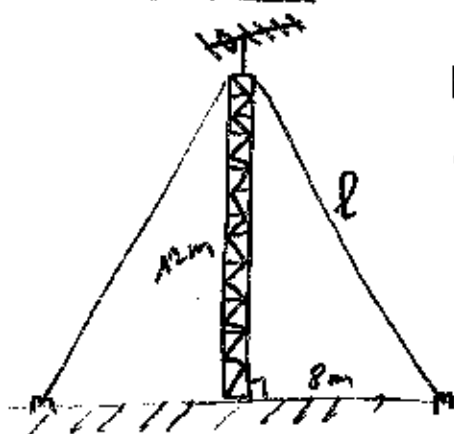


le théorème de Pythagore s'énonce ainsi :

Dans un triangle rectangle le  
carré de l'hypoténuse est égal à la somme  
des carrés des côtés de l'angle droit soit :

$$BC^2 = AB^2 + AC^2$$

## Application



Soit un pylone de hauteur 12m  
les points d'ancrage des haubans sont à  
8m du pied du pylone. Quelle est la  
longueur des haubans?

le théorème de Pythagore donne :

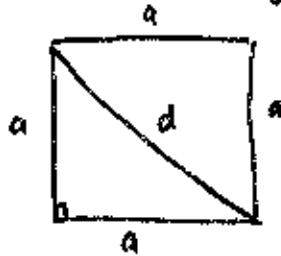
$$12^2 + 8^2 = l^2$$

$$\text{soit } l^2 = 144 + 64 = 208$$

$$l = \sqrt{208} \quad \underline{l = 14,4 \text{ m}}$$

### Cas d'un carré

Si  $a$  désigne le côté du carré et  $d$  la diagonale

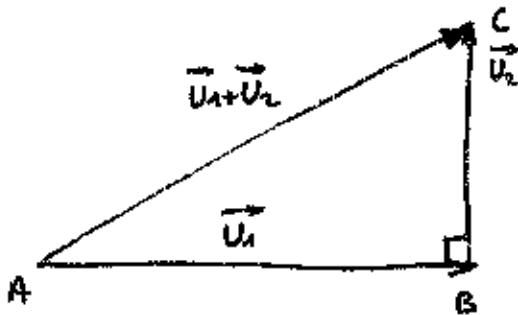


$$d^2 = a^2 + a^2 = 2a^2$$

$$d = \sqrt{2a^2} = \sqrt{2} \times \sqrt{a^2} = \sqrt{2} \times a$$

$$d = a \cdot \sqrt{2} = 1,414 \cdot a$$

### Addition de deux vecteurs perpendiculaires



$$\vec{U}_1 = \vec{AB}$$

$$\vec{U}_2 = \vec{BC}$$

$$\vec{U}_1 + \vec{U}_2 = \vec{AB} + \vec{BC} = \vec{AC}$$

Si par exemple le module de  $\vec{U}_1$  est 4 volts, celui de  $\vec{U}_2$  3 volts, le module de  $\vec{U}_1 + \vec{U}_2$  sera la longueur AC

Par le théorème de Pythagore on obtient :

$$AC^2 = AB^2 + BC^2 = 4^2 + 3^2 \\ = 16 + 9 = 25$$

$$\text{d'où } AC = \sqrt{25} = 5 \text{ Volts}$$

le module de  $\vec{U}_1 + \vec{U}_2$  est donc 5 volts

Retenez qu'un triangle dont les côtés mesurent respectivement 3, 4 et 5m est un triangle rectangle (bien pratique par exemple pour construire deux murs perpendiculaires quand on ne dispose pas d'une grande équerre.)

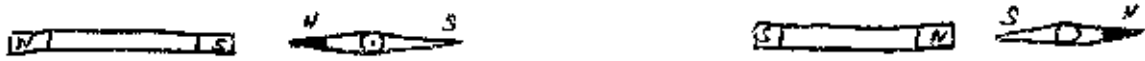
## Magnétisme :

Tout le monde connaît les aimants qui ont la propriété d'attirer les matériaux dit magnétiques tels que fer, acier, nickel.

Les aimants produisent ce qu'on appelle des champs magnétiques. Un champ magnétique c'est une zone de l'espace où se produisent des phénomènes magnétiques (rien à voir avec les marabouts et autres charlatans)

La terre est entourée du champ magnétique terrestre qui a pour effet de faire dévier l'aiguille d'une boussole (aiguille aimantée) vers le Nord.

Si on approche un barreau aimanté près d'une boussole, l'aiguille de la boussole tourne et s'aligne avec le barreau aimanté



Si on approche l'autre extrémité du barreau c'est l'autre extrémité de l'aiguille de la boussole qui est attirée

On explique le phénomène en considérant que les extrémités des barreaux aimantés sont des pôles magnétiques de deux types différents : l'un dit pôle Nord, l'autre le pôle Sud, les pôles de mêmes natures se repoussent, les pôles de natures différentes s'attirent tout comme les charges électriques de mêmes signes se repoussent et les charges électriques de signes contraires s'attirent.

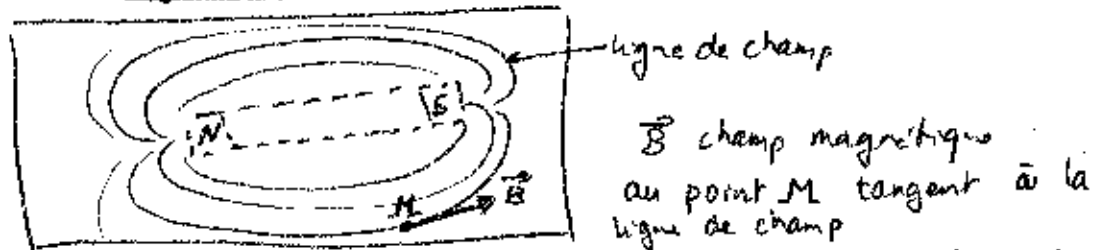
L'aiguille de la boussole a bien sûr aussi un pôle Nord et un pôle Sud

L'aiguille de la boussole est soumise à une force qui l'aligne sur le champ magnétique terrestre. En approchant un aimant, on crée un champ magnétique bien supérieur au champ magnétique terrestre et l'aiguille aimantée de la boussole s'aligne sur le champ de l'aimant.

Le champ magnétique est une grandeur vectorielle, caractérisée par son intensité (le module du vecteur) et sa direction et son sens (ceux du vecteur)

On peut matérialiser la direction du champ magnétique autour d'un aimant en réalisant l'expérience suivante :

Sur un aimant on pose une feuille de papier bristol sur laquelle on saupoudre de la limaille de fer. En tapotant légèrement le bristol on voit la limaille s'aligner sur des lignes courbes appelées lignes de champ

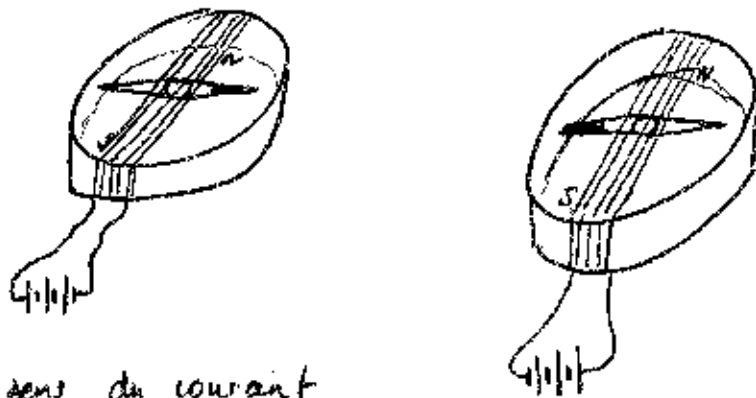


Par convention on a fixé le sens du champ magnétique allant du pôle Nord de l'aimant vers le pôle sud.

le champ magnétique est tangent aux lignes de champ.

### Electromagnétisme

Si on fait quelques tours de fil électrique autour d'une boussole et qu'on fait passer un courant électrique dans le fil, l'aiguille tourne pour s'aligner presque perpendiculairement au plan des tours de fil

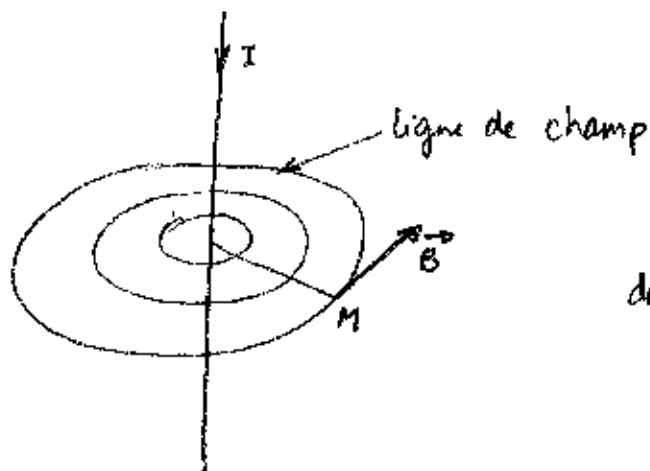


Si on change le sens du courant

l'aiguille change de sens (pôles inversés)

Si on diminue l'intensité du courant (en intercalant une résistance en série par exemple), la déviation de l'aiguille diminue.

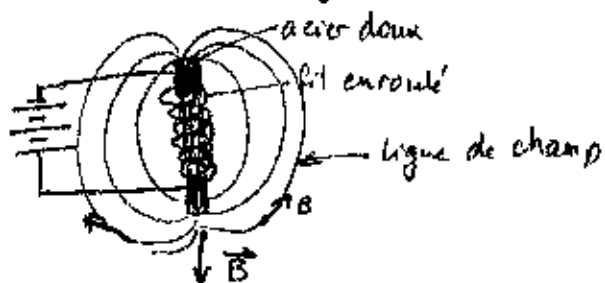
Cette expérience montre que le passage du courant dans un fil crée un champ magnétique <sup>perpendiculaire</sup> au plan défini par le fil et le point M. les lignes de champ sont des cercles concentriques autour du fil.



3

le sens du champ magnétique dépend du sens du courant.

En bobinant du fil électrique autour d'une barre de fer, cette barre de fer devient un aimant quand le fil est parcouru par un courant. Le montage s'appelle un électro-aimant



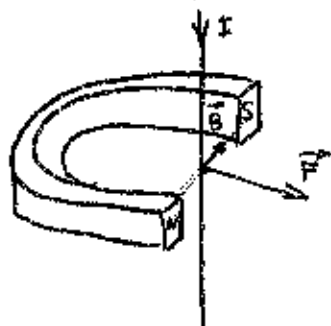
Les électro-aimants sont très utilisés :

- manutention de pièces d'acier
- ouvre-porte électrique
- relais électrique

Dans un relais l'électro-aimant attire une plaque de fer qui provoque l'ouverture ou la fermeture d'un interrupteur.

### Force électromagnétique :

On réalise l'expérience suivante : Un fil souple vertical est suspendu entre les deux pôles d'un aimant en forme de U

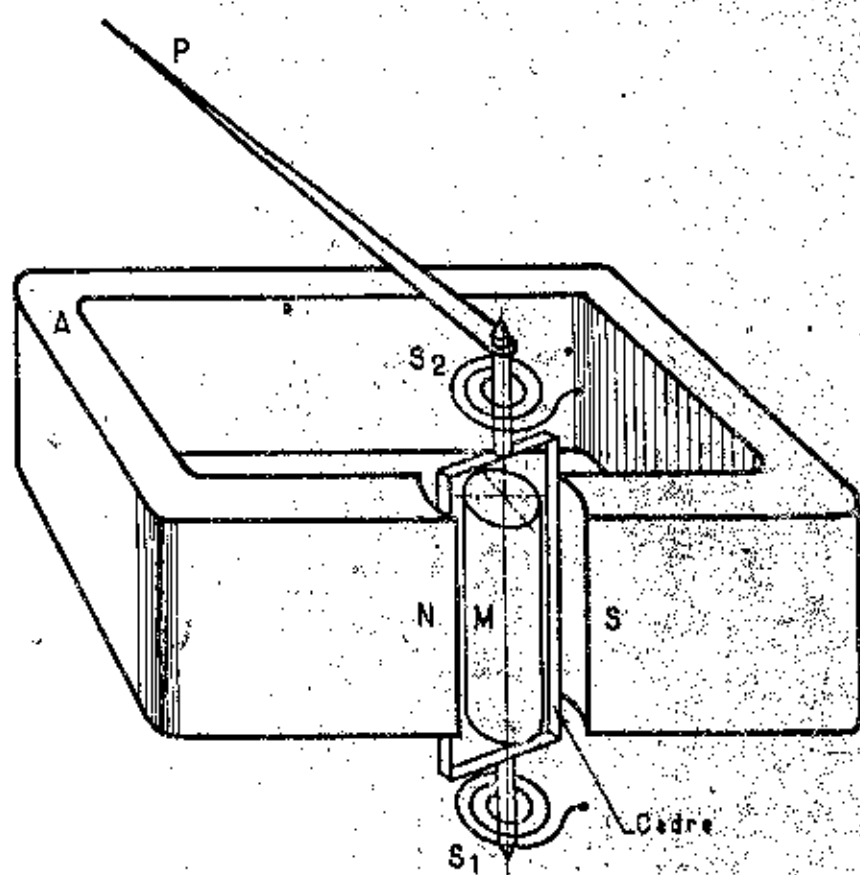


Si on fait passer un courant dans le fil celui-ci a tendance à s'éloigner ou à se rapprocher du creux du U.

Cette expérience montre qu'un fil parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique perpendiculaire au fil est soumis à une force perpendiculaire au plan du fil et du champ magnétique. La force est proportionnelle à l'intensité du courant

Sur le principe de l'expérience précédente on réalise des appareils pour mesurer des courants électriques très faibles. Ces appareils sont appelés galvanomètres.

Un petit cadre sur lequel est enroulé du fil électrique très fin est placé entre les pôles d'un gros aimant. Deux ressorts en spirale assurent le rappel du cadre monté sur un axe après sa rotation.



La rotation du cadre est mise en évidence par une aiguille solidaire du cadre.

Le passage du courant dans le cadre soumet celui-ci à une force qui le fait tourner autour de son axe. La rotation est limitée par les ressorts de rappel, et est d'autant plus grande que l'intensité du courant est élevée.

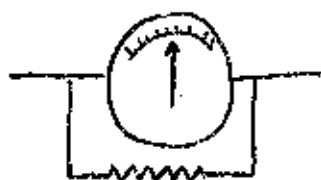
L'aiguille indique sur un cadran gradué l'intensité du courant. La plupart des galvanomètres ont une déviation totale de  $90^\circ$  à  $120^\circ$  pour une intensité de l'ordre de 50 à 100  $\mu\text{A}$ .

La rotation de l'aiguille est proportionnelle au courant.

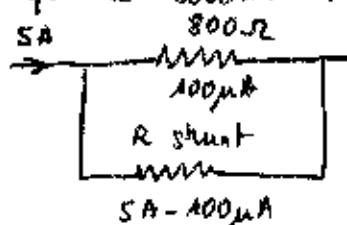


## Shunt

Pour mesurer des intensités plus importantes que  $100\mu A$  par exemple, on utilise un galvanomètre sur lequel on a monté une résistance en parallèle appelée shunt



Ex : soit un galvanomètre dont la déviation maximale est obtenue pour  $100\mu A$  et dont la résistance (résistance du fil enroulé sur le cadre) est de  $800\Omega$ . On veut réaliser un ampèremètre (appareil pour mesurer les intensités) dont la déviation maximale de l'aiguille sera obtenue pour  $5A$ . Pour cela il suffit de monter un shunt tel que le galvanomètre soit traversé par  $100\mu A$  alors que le courant total est de  $5A$



la tension aux bornes des deux résistances est la même, notons la  $U$ . La loi d'Ohm donne :

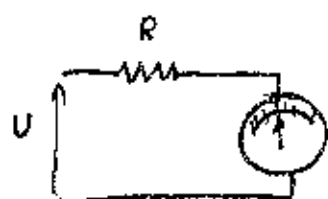
$$U = 800\Omega \times 100\mu A \quad \text{et} \quad U = R \times (5A - 100\mu A)$$

$$\text{soit} \quad 800 \times 10^{-4} = R (4,9999)$$

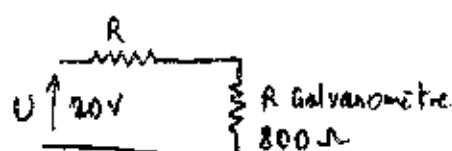
$$R = \frac{800 \times 10^{-4}}{4,99} \approx 160 \times 10^{-4} = 0,016\Omega$$

## Mesure des tensions

En branchant en série avec un galvanomètre une résistance de valeur élevée, on réalise un appareil pour mesurer les tensions appelé voltmètre



la tension  $U$  provoque un courant  $I$  dans le galvanomètre  $I = \frac{U}{R + R_{\text{Galva}}}$



le courant est proportionnel à la tension  
la déviation de l'aiguille du galvanomètre est donc proportionnelle à la tension à mesurer

En reprenant les valeurs de l'exemple précédent, pour réaliser un voltmètre de déviation totale pour 20V il faut intercaler en série une résistance  $R$  telle que le courant dans le galvanomètre soit de  $100\mu A$ .

La loi d'Ohm donne  $20V = (R + 800\Omega) \times 100\mu A$

$$R + 800 = \frac{20}{100 \times 10^{-6}} = \frac{20}{10^{-4}} = 20 \times 10^4 = 200000\Omega$$

d'où  $R = 199200\Omega$

### Calibre d'un voltmètre - d'un ampèremètre

Le calibre d'un voltmètre ou d'un ampèremètre c'est la valeur de la tension ou de l'intensité qui fait dévier l'aiguille à sa valeur maximale.

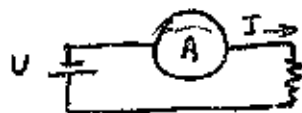
Avec un seul galvanomètre et des résistances commutées soit en série, soit en parallèle on peut réaliser des multimètres de différents calibres exemple:  $100\mu A$ ,  $500\mu A$ ,  $1mA$ ,  $10mA$ ,  $100mA$ ,  $1A$ ,  $10A$ ,  $100mV$ ,  $1V$ ,  $10V$ ,  $100V$ ,  $1000V$

Avec une pile dont la force électromotrice est connue et stable on peut mesurer le courant dans une résistance et donc déterminer sa valeur en appliquant la loi d'Ohm

Les ohmmètres sont réalisés sur ce principe

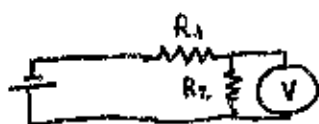
### Qualité d'un appareil de mesure :

Un appareil de mesure est d'autant meilleur qu'il ne perturbe pas trop le montage lors de la mesure



pour ne pas provoquer une chute de tension trop importante à cause de l'ampèremètre il

faut que sa résistance interne soit très faible



Si la résistance interne du voltmètre n'est pas suffisamment élevée par rapport à  $R_2$ , celle-ci

en parallèle avec  $R_2$  aura pour effet de diminuer la résistance globale du montage donc d'augmenter le courant, donc d'augmenter la tension aux bornes de  $R_1$  donc de diminuer celle aux bornes de  $R_2$   
le voltmètre est d'autant meilleur que sa résistance interne est élevée

## Résistance interne d'un voltmètre

7

La résistance interne d'un voltmètre s'obtient en multipliant la résistance caractéristique du voltmètre (indiqué sur l'appareil en général 5 000 à 20 000  $\Omega$  par volt), par le calibre utilisé (tension qui provoque la déviation maximale de l'aiguille.)

Ex : pour mesurer une tension de l'ordre de 70V avec un voltmètre, on utilisera le calibre juste supérieur (pour obtenir la plus grande déviation de l'aiguille donc un maximum de précision), 100V par exemple. Si le voltmètre est de qualité 20 000  $\Omega/V$  la résistance interne du voltmètre sera  $100V \times 20\,000 \Omega/V = 2\,000\,000 \Omega = 2 M\Omega$

Plus le calibre est élevé, plus la résistance interne est élevée. Par contre un calibre trop élevé ne permettra pas une déviation suffisante de l'aiguille pour une lecture correcte.

Avec des voltmètres électroniques qui fonctionnent sur des principes différents (tube électronique ou transistor à effet de champ) la résistance interne est très élevée : 10  $M\Omega$  est une valeur courante. Par contre la résistance interne est constante et ne dépend pas du calibre.

Pour une mesure correcte il faut un voltmètre dont la résistance interne soit 50 à 100 fois supérieure à la valeur de la résistance dont on veut mesurer la tension à ses bornes