

## Instrument à cadre mobile :

Les instruments de mesure à courant continu sont généralement pourvus d'un équipement à cadre mobile.

Ce cadre mobile utilise la force électromagnétique  $F$  que subit une bobine ou un conducteur parcouru par un courant  $I$  et placé dans un champ d'induction  $B$ .

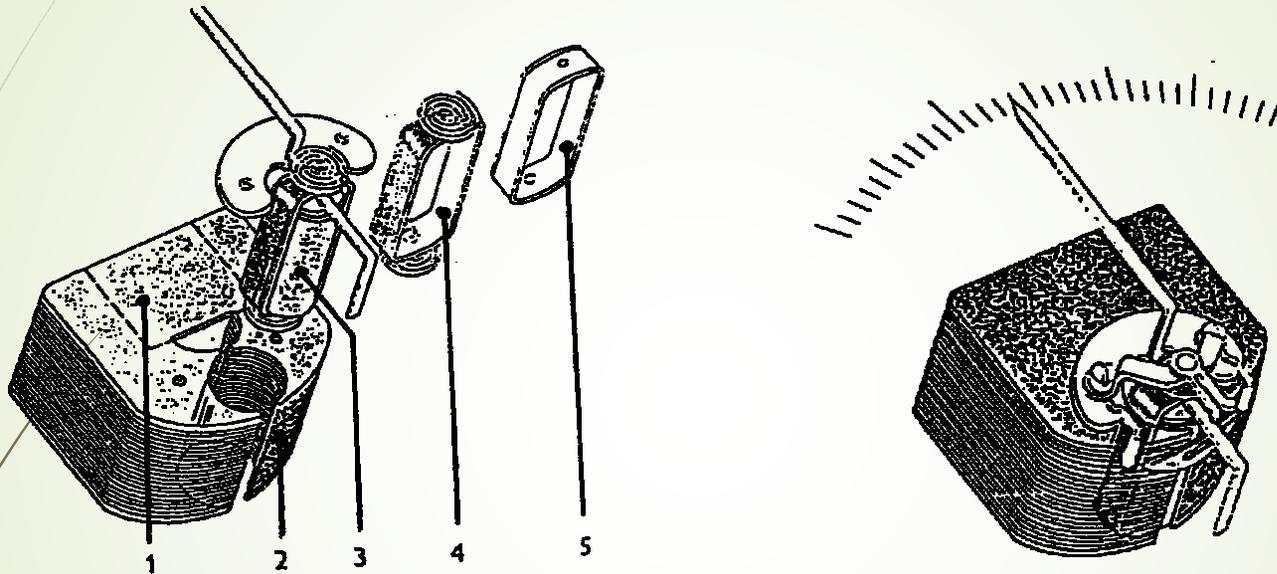
Symbole général des instruments à cadre mobile :

C'est la relation de Laplace qui est utilisée :



$$F = B \times I\ell \quad \text{Produit vectoriel !} \quad (\text{prononcer } B \text{ cross } I\ell)$$

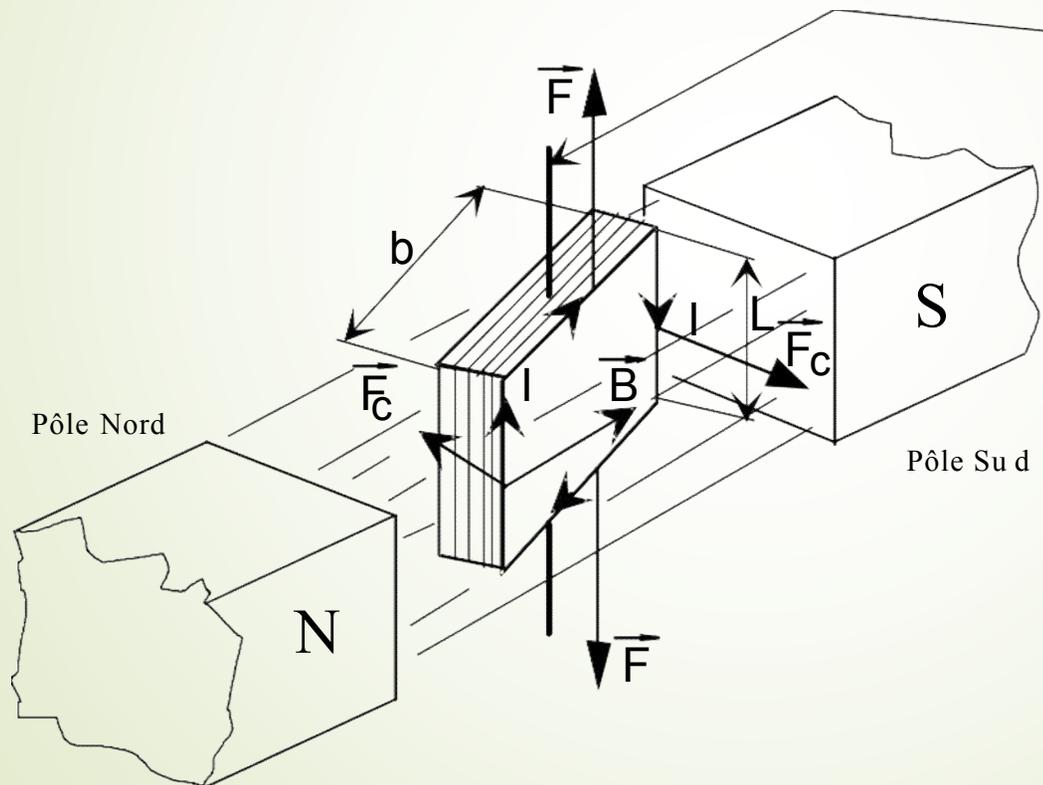
Vue d'ensemble d'un appareil à cadre mobile :



- 1) Aimant permanent générateur d'un champ d'induction  $B$
- 2) Noyau en fer doux pour guider les lignes de force de l'aimant permanent
- 3) Noyau en fer doux pour guider les lignes de force de la bobine siège du courant  $I$  mesuré
- 4) Bobine complète à cadre mobile dans laquelle circule le courant  $I$  mesuré
- 5) Cadre en aluminium, support de la bobine

## 2 Principe de fonctionnement :

Le courant à mesurer passe par les enroulements d'une bobine ou cadre mobile suspendu entre les pôles d'un aimant.



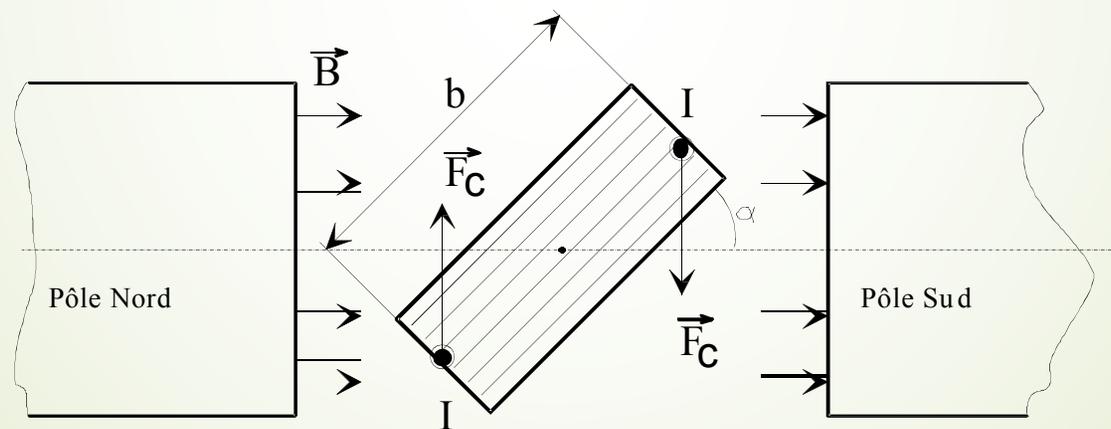
Fil assurant l'amenée du courant  $I$  et la suspension du cadre, ainsi que le moment mécanique de torsion dans les appareils simples.

Dans les appareils un peu plus performants, ce sont des ressorts en spirales qui assurent le moment de rappel.

Nous voyons que sur les côtés du cadre, parallèles aux lignes de forces du champ d'induction  $\mathbf{B}$  les forces électromagnétiques  $\mathbf{F}$  se compensent.

Par contre, sur les faces du cadre, perpendiculaire au champ d'induction  $\mathbf{B}$ , les forces électromagnétiques  $\mathbf{F}$  constituent un couple de forces.

Vue de dessus :



### 3 Utilisation de l'instrument à cadre mobile

Cet instrument ne peut s'utiliser qu'en courant continu ou stable, car le sens des lignes de force de l'aimant ne doit pas changer en fonction du courant mesuré.

Lors de la mesure, il faut être attentif à la polarité, car si le courant  $I$  engendre une force électromagnétique  $F$  inverse du champ d'induction  $B$  l'aiguille va taper la butée, se déformer et ne plus indiquer précisément les mesures futures.

Le symbole pour indiquer le genre de courant à mesuré est : 

Avec ce principe, nous ne pouvons mesurer que des courants électriques  $I$ . Pour la mesure de tension  $U$ , on mesure le courant qui traverse l'appareil à cadre mobile raccordé en parallèle. La lecture de la valeur de ce courant est faite sur une échelle graduée en tension. Pour que cette mesure soit correcte et ne modifie pas les caractéristiques du circuit, la résistance interne de l'instrument doit être très grande.

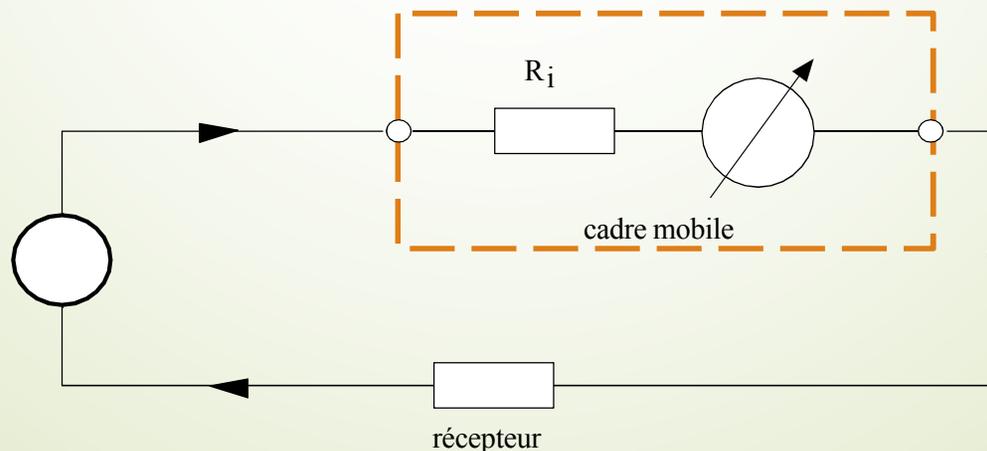
## Etude :

Un appareil de mesure parcouru par un courant  $I$  de 1 [A] provoque un moment  $M$  maximum. Ce moment  $M$  est obtenu par le bras de levier  $r$  que constitue le cadre mobile et par une force électromagnétique  $F$ . Cette force électromagnétique  $F$  est proportionnelle au courant  $I$ , à la longueur  $l$ , et au champ d'induction  $B$ . Soit les relations suivantes :

$$M = F \times r \quad F = B \times Il$$

Comme nous admettons la perpendicularité entre  $B$  et  $l$ , nous pouvons écrire le produit scalaire :  $M = r \cdot B \cdot I \cdot l$

Schéma de l'appareil de mesure dans le circuit électrique:

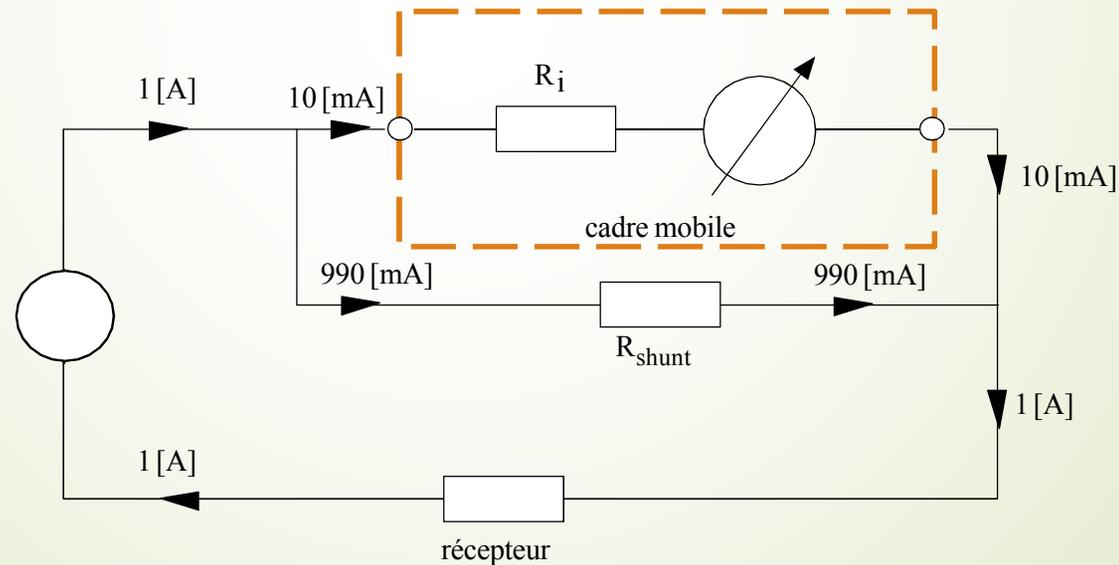


## Exemple :

Un appareil à cadre mobile présente une résistance de  $100 [\Omega]$ . Nous désirons mesurer un courant de  $1 [A]$ . L'aiguille se trouve à fond d'échelle lorsqu'un courant de  $10 [mA]$  circule dans l'appareil.

Nous savons que l'appareil de mesure supporte un courant maximum  $I_{\max}$  de  $10 [mA]$ . Le courant maximum  $I_{\text{mes}}$  mesuré sera de  $1 [A]$ .

Ceci implique que nous devons réaliser un passage de courant  $I$  ailleurs que dans l'organe de mesure. Nous exécuterons un pont mis en parallèle sur les bornes de l'instrument.



Le point de passage du courant s'appelle un **SHUNT**.

## 4 Dimensionnement du Shunt :

Appliquons les lois de Kirchhoff et d'Ohm :

$$\Sigma I_{\text{totaux}} = \Sigma I_{\text{partiels}} \quad U = R \cdot I \quad I_{\text{total}} = I_{\text{instrument}} + I_{\text{shunt}}$$

Comme nous sommes en parallèle, la tension  $U_{\text{instrument}}$  est égale à la tension  $U_{\text{shunt}}$ .

$$U_{\text{instrument}} = U_{\text{shunt}}$$

Remplaçons par la loi d'Ohm :

$$R_{\text{instrument}} \cdot I_{\text{instrument}} = R_{\text{shunt}} \cdot I_{\text{shunt}}$$

Cherchons les inconnues que sont  $I_{\text{shunt}}$  et  $R_{\text{shunt}}$

$$R_{\text{instrument}} \cdot I_{\text{instrument}} = R_{\text{shunt}} \cdot (I_{\text{total}} - I_{\text{instrument}}) \quad R_{\text{shunt}} = \frac{R_{\text{instrument}} \cdot I_{\text{instrument}}}{I_{\text{total}} - I_{\text{instrument}}}$$

Application numérique :

$$R_{\text{shunt}} = \frac{100 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{(1 - 10 \cdot 10^{-3})} = 1.01 \text{ } [\Omega]$$

Remarque :

Si nous désirons obtenir une autre valeur à fond d'échelle, nous remplacerons ce shunt par un shunt d'une autre valeur.

## Exemple pratique :

Nous disposons d'un organe de mesure à cadre mobile dont les caractéristiques sont les suivantes :

Courant maximum : 4.7 [mA] Tension aux bornes : 700 [mV]

Cet instrument doit être utilisé pour la mesure de courants de différentes intensités. Pour cela il faut prévoir 3 extensions de mesure pour les valeurs suivantes :

$$I_1 = 50 \text{ [mA]} \quad I_2 = 660 \text{ [mA]} \quad I_3 = 1250 \text{ [mA]}$$

Dessiner le schéma électrique de l'instrument complet, équipé de tous les éléments nécessaires pour effectuer les mesures désirées.

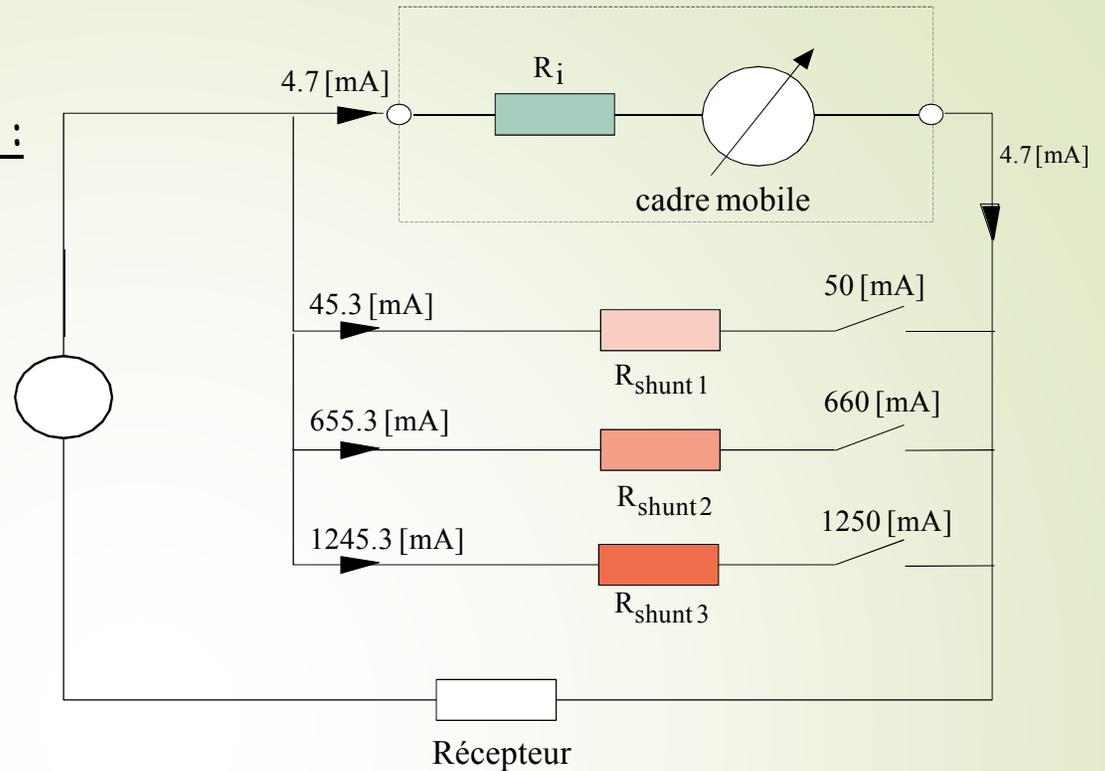
Calculer les valeurs des résistances shunt.

Relation :

$$R_{shunt} = \frac{R_{instrument} \cdot I_{instrument}}{I_{total} - I_{instrument}}$$

## Schéma électrique de l'instrument :

$$R_{inst} = \frac{U_{instrument}}{I_{instrument}} = \frac{700 \cdot 10^{-3}}{4.7 \cdot 10^{-3}} = 148.94 [\Omega]$$



Le courant maximum admissible dans le cadre mobile est de  $4.7 \text{ [mA]}$ . Il faut donc dévier le courant supérieur à cette valeur. Cette déviation est effectuée au moyen de la résistance shunt placée en parallèle aux bornes du cadre mobile.

Pour simplifier les calculs, nous utilisons 3 résistances shunt, une pour chaque gamme de mesure, bien que ce ne soit pas toujours le cas dans la pratique.

Les valeurs inscrites sur les interrupteurs indiquent les gammes de mesure et non les courants les traversant.

Avant de commencer le calcul des résistances shunt, nous devons déterminer la valeur de la résistance interne du cadre mobile.

Calcul des résistances shunt :

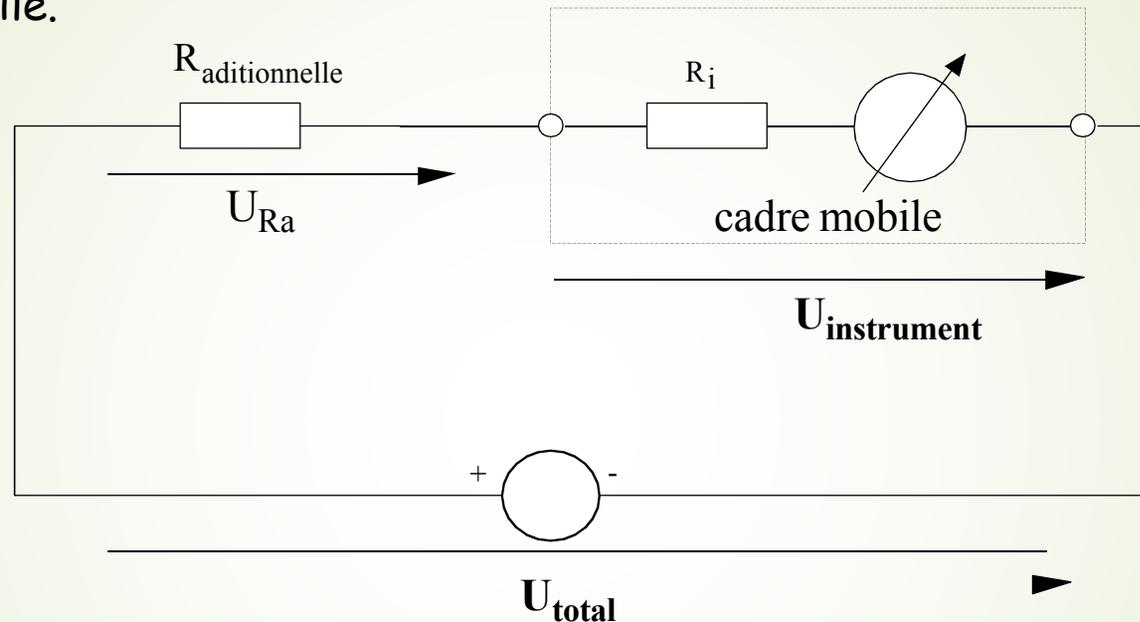
$$R_{shunt1} = \frac{R_{instrument} \cdot I_{instrument}}{I_{total} - I_{instrument}} = \frac{148.94 \cdot 4.7 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 10^{-3} - 4.7 \cdot 10^{-3}} = 15.45 [\Omega]$$

$$R_{shunt2} = \frac{R_{instrument} \cdot I_{instrument}}{I_{total} - I_{instrument}} = \frac{148.94 \cdot 4.7 \cdot 10^{-3}}{660 \cdot 10^{-3} - 4.7 \cdot 10^{-3}} = 1.07 [\Omega]$$

$$R_{shunt3} = \frac{R_{instrument} \cdot I_{instrument}}{I_{total} - I_{instrument}} = \frac{148.94 \cdot 4.7 \cdot 10^{-3}}{1250 \cdot 10^{-3} - 4.7 \cdot 10^{-3}} = 562 [m\Omega]$$

## 5 Utilisation de l'instrument à cadre mobile en voltmètre :

Dans la pratique, nous désirons également mesurer des tensions  $U$  à l'aide d'un cadre mobile.



Dans ce cas, la résistance est placée en série et elle se nomme  $R_{additionnelle}$

Nous savons que l'appareil de mesure supporte, de par sa construction, un courant  $I$  de 10 [mA] et que sa résistance interne  $R_i$  est de 100 [ $\Omega$ ].

La tension  $U$  maximum que nous désirons mesurer est de 300 [V].

Ceci implique que nous devons réaliser un réducteur de tension  $U$  en plaçant une résistance additionnelle en série.

## 6 Dimensionnement de la résistance additionnelle

Appliquons les lois de Kirchhoff et d'Ohm :

$$U = R \cdot I$$

$$\Sigma U_{\text{totale}} = \Sigma U_{\text{partielles}}$$

$$U_{\text{instrument}} = R_{\text{instrument}} \cdot I_{\text{instrument}}$$

$$U_{\text{total}} = U_{\text{instrument}} + U_{R_{\text{additionnelle}}}$$

Comme nous sommes en série, le courant  $I_{\text{instrument}}$  est égal au courant  $I_{R_{\text{additionnelle}}}$ .

Nous abrégeons de la manière suivante :  $I_{\text{instr}} = I_{R_{\text{add}}}$

Remplaçons par la loi d'Ohm et cherchons l'inconnue qu'est  $R_{\text{add}}$

$$U_{\text{totale}} = (R_{\text{instr}} \cdot I_{\text{instr}}) + (R_{\text{add}} \cdot I_{\text{instr}})$$

$$R_{\text{add}} = \frac{U_{\text{totale}} - (R_{\text{instr}} \cdot I_{\text{instr}})}{I_{\text{instr}}}$$

Application numérique :

$$R_{\text{add}} = \frac{300 - (100 \cdot 10 \cdot 10^{-3})}{10 \cdot 10^{-3}} = 29.9 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

**Remarque :**

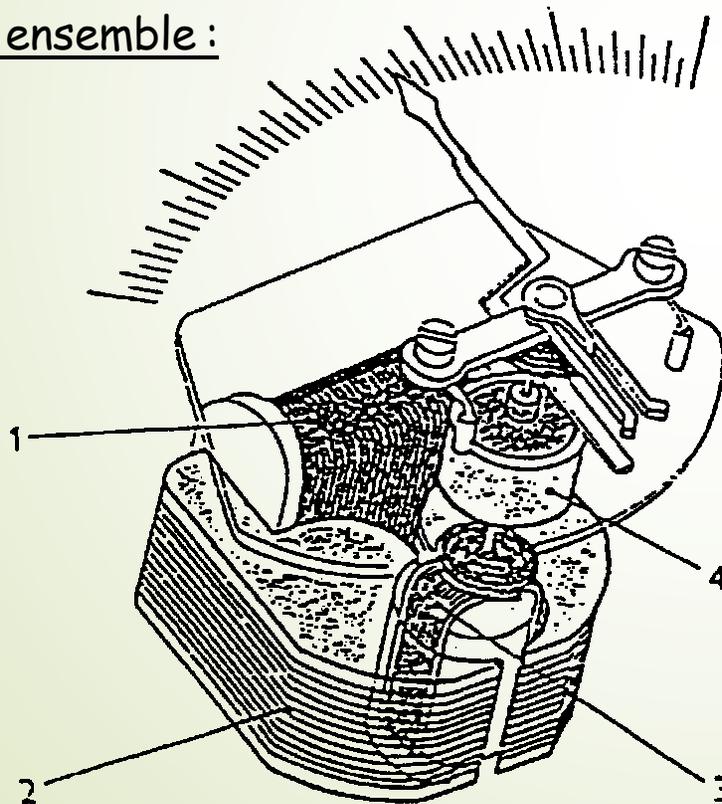
*Si nous désirons obtenir une autre valeur à fond d'échelle, nous remplacerons cette résistance additionnelle par une résistance d'une autre valeur.*

## 7 Instrument de mesure électrodynamique :

Il est possible de remplacer l'aimant permanent par une bobine traversée par un courant.

Cet instrument devient alors un appareil de mesure électrodynamique. La technologie de cet appareil en fait un instrument moins sensible et plus robuste que l'appareil à cadre mobile.

Vue d'ensemble :



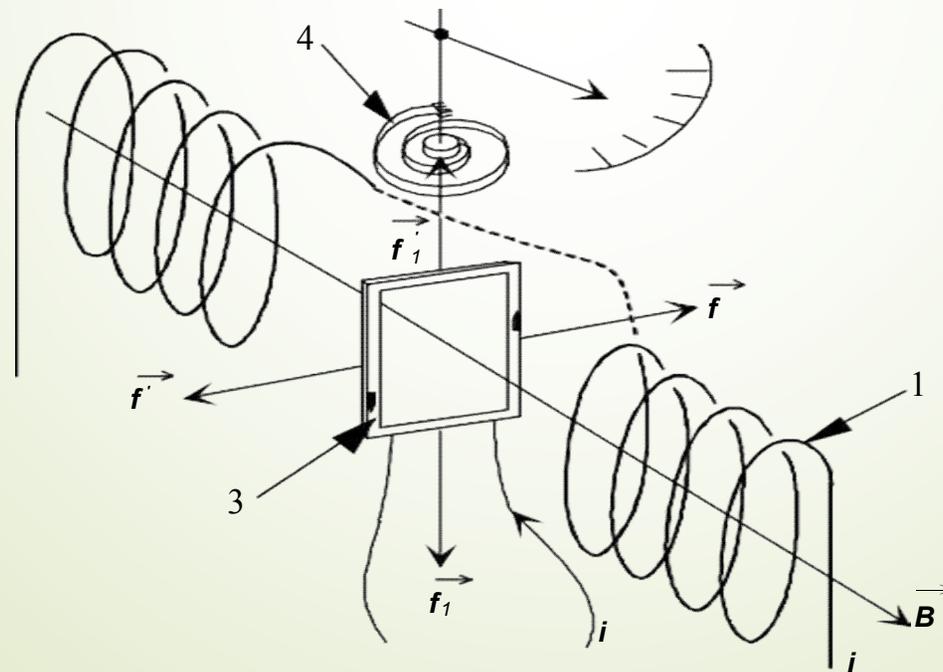
Symbole de l'instrument : 

1. bobine de champ d'induction  $B$
2. noyau en fer doux pour guider les lignes de force de la bobine
3. bobine complète à cadre mobile dans laquelle circule le courant  $I$  mesuré
4. amortisseur supplémentaire travaillant comme le fil de torsion

## Principe de fonctionnement :

Le courant à mesurer passe par les enroulements d'une bobine (3) ou cadre mobile suspendu entre les pôles d'un noyau supportant la bobine (2) générant le champ d'induction  $B$

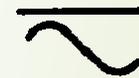
La suite du fonctionnement est la même que pour l'instrument à cadre mobile.



## 8 Utilisation de l'instrument de mesure électrodynamique

Cet instrument de mesure permet de mesurer des courants continus ou des courants alternatifs. Le champ d'induction  $B$  de la bobine est parcouru par un courant  $I$  dépendant du courant  $I$  mesuré. Ce qui n'était pas le cas de l'aimant permanent.

Le symbole est, pour indiquer le genre de courant mesuré :



## 9 Wattmètre électrodynamique :

Le courant à mesurer passe par les enroulements de la bobine fixe provoquant un champ d'induction  $\vec{B}$ , repéré  $B_I$ , impliquant une force électromagnétique  $F_I$ .

Le courant  $I$  circule dans la bobine mobile, est l'image de la tension  $U$  mesurée. Ce courant  $I$  engendre un champ d'induction  $\vec{B}$  dépendant de la tension  $U$  et repéré par  $B_U$ . Une force électromagnétique  $F_U$  se manifeste.

Ces 2 forces électromagnétiques provoquent un moment  $M$ . Ce qui a comme conséquence de déplacer l'aiguille de l'instrument de mesure.