

# LES CAPTEURS DE MESURE DE COURANT

1 - Position du Problème :

2 - Description générale d'un capteur « moderne » :

- 2.1 - Fonction globale
- 2.2 - Fonctions assurées
- 2.3 - Structure fonctionnelle

3 - Performances exigées :

- 3.1 - Etendue de l'échelle, décalage de zéro
- 3.2 - Précision – sensibilité
- 3.3 - Temps de réponse - rapidité
- 3.4 - Finesse

4 - Critères de choix d'un capteur :

5 – Capteur de Courant à effet HALL :

- 5.1 - Principe physique de l'effet Hall
- 5.2 - Capteur a boucle ouverte
- 5.3 - Capteur a boucle fermée

6- Document constructeur capteur LEM LA 25-NP :

7- Autres capteurs :

- 7.1- Tableau récapitulatif . Revue 3EI- N° 13 page 47 .

8- Idées de Travaux Pratiques sur le capteur de Courant :

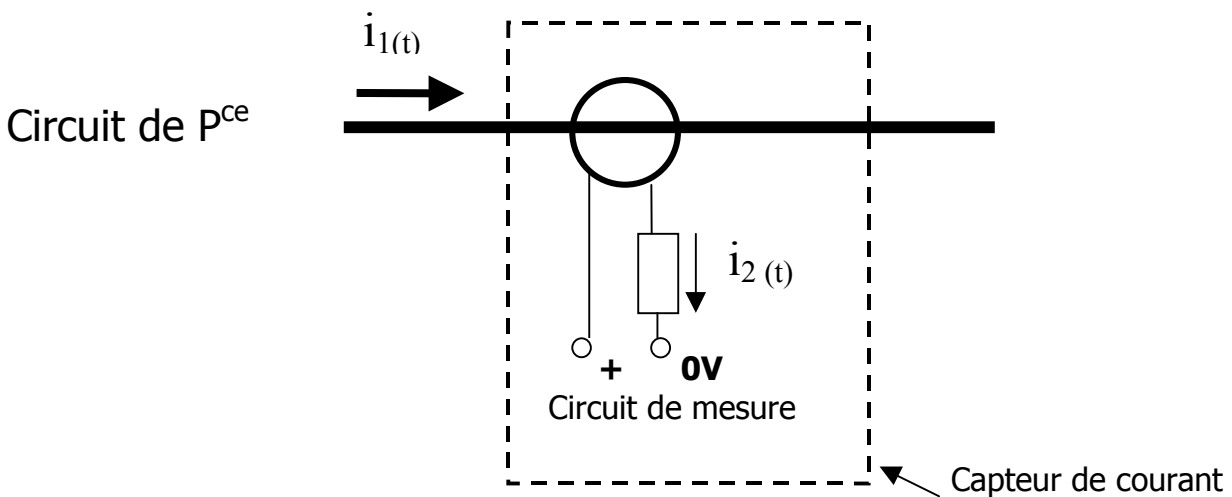
- 8.1- Objectifs : Mise en œuvre d'une sonde de courant à effet Hall.

☞ Vérification de la précision, de la linéarité, de l'étendue de mesure, de la bande passante, de la fidélité.

9- Bibliographie :

- Revues 3Ei
- Doc constructeur LEM France.

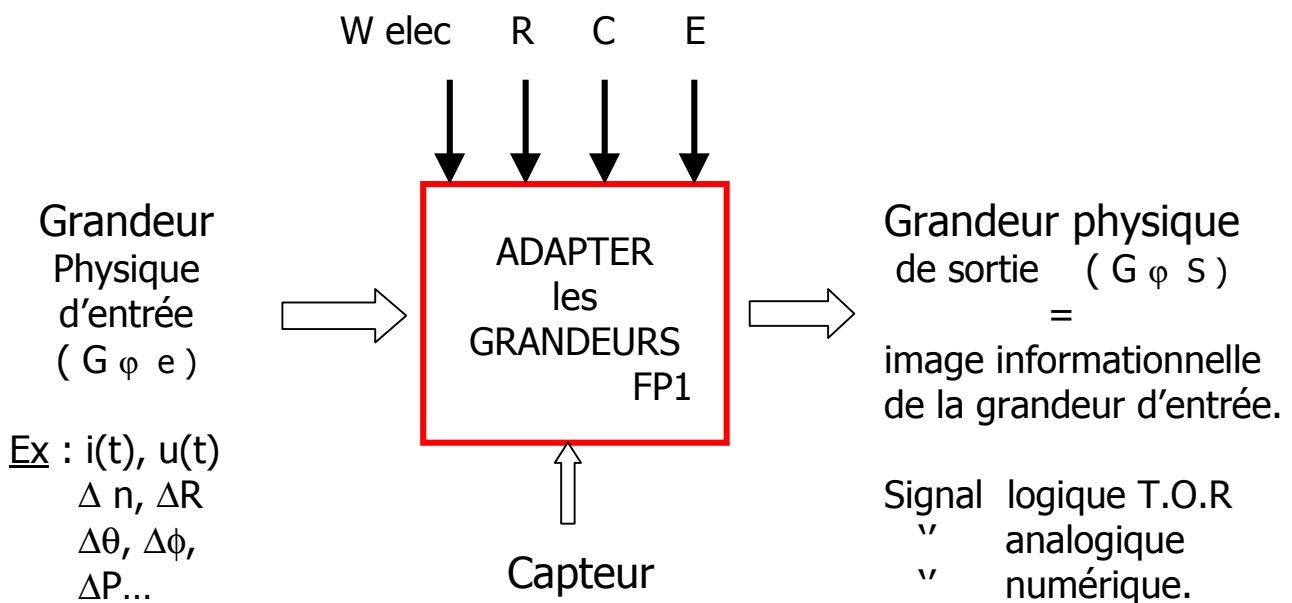
**1 - Position du Problème :**



- Objectifs recherchés :
- $i_2(t)$  = Image fidèle et précise de  $i_1(t)$ . → *Précision- Fidélité*
  - Universalité de restitution des signaux ( DC,AC, IMP).→ *Linéarité*
  - Aptitude à supporter les fortes surcharges. → *étendue mesure*
  - Forte immunité aux  $c^{ts}$  transitoires →Bande Passante.
  - Bonne isolation galvanique.
  - Insensibilité aux milieux extérieurs (  $\Delta B, \Delta\theta, \Delta$ humidité).
  - Simplicité d'emploi, grande gamme de calibres.
  - Constituant économique et peu volumineux.

**2 - Description générale d'un capteur « moderne » :**

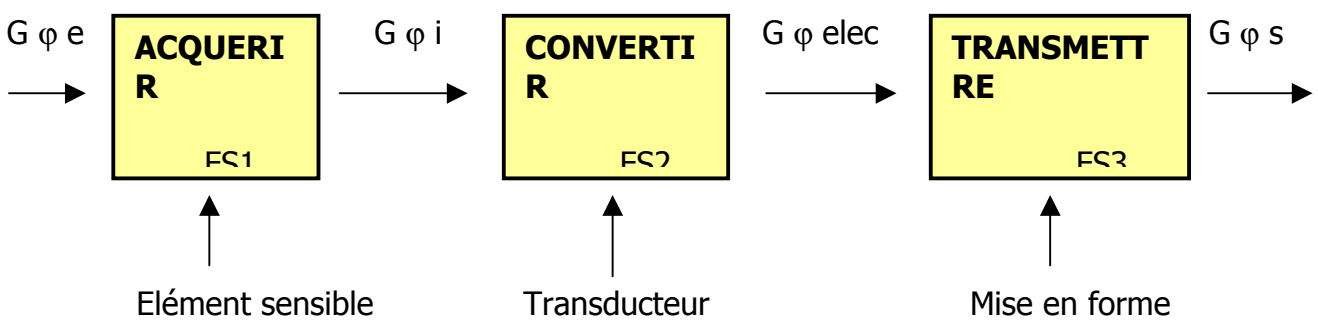
2.1 - Fonction globale



2.2 – les sous fonctions associées :

1. ACQUERIR la grandeur à mesurer comme un appareil de mesures
2. CONVERTIR la mesure en signal exploitable technologiquement (pneu, elec,..)
3. TRANSMETTRE un signal standard, image de la grandeur à mesurer.

2.3 - Structure fonctionnelle d'un capteur



Ex : Œil humain = capteur d'images

FS1 = Rétine	FS2 = bâtonnets ou informations optique localisées au fond de l'œil.	FS3 = nerf optique transmet au cerveau les signaux.
--------------	--	---

G φ entrée	Si G. φ . e n'est pas exploitable directement alors l'élément sensible doit transmettre une grandeur physique intermédiaire (G. φ . i)
G φ image	La loi physique de G φ i est traduite en signal électrique par le transducteur. <u>Ex</u> : L'effet Hall pour la mesure d'un courant ou d'un déplacement. L'effet Piezzo électrique pour capter un niveau, un débit. L'effet photo électrique pour détecter une position ( codeurs INC,ABS).
G φ elec	Le signal émis par le transducteur est souvent non linéaire et de faible niveau. Il sera également influencé par les variations de température de l'élément sensible et par les grandeurs d'influence du transducteur.
G elec Sortie	Sont transmises au circuit de cde après amplification, linéarisation, mise en forme et correction éventuelle du signal pour le rendre exploitable.

### 3.1 - Etendue de l'échelle, décalage de zéro :

- L'étendue de l'échelle exprime la différence entre les valeurs minimales et maximales.
- La sortie à 0% ne correspond pas toujours à une valeur nulle de la grandeur mesurée. On exprimera ce décalage de zéro par un offset.

### 3.2 - Précision – sensibilité :

- La précision s'apparente à la qualité de la mesure effectuée par le capteur.
- L'erreur de précision ou imprécision de mesure délimite un intervalle d'incertitude à  $\pm 1\%$ .
- La sensibilité est définie autour d'une valeur  $m$  de la grandeur. Elle s'exprime par le rapport :

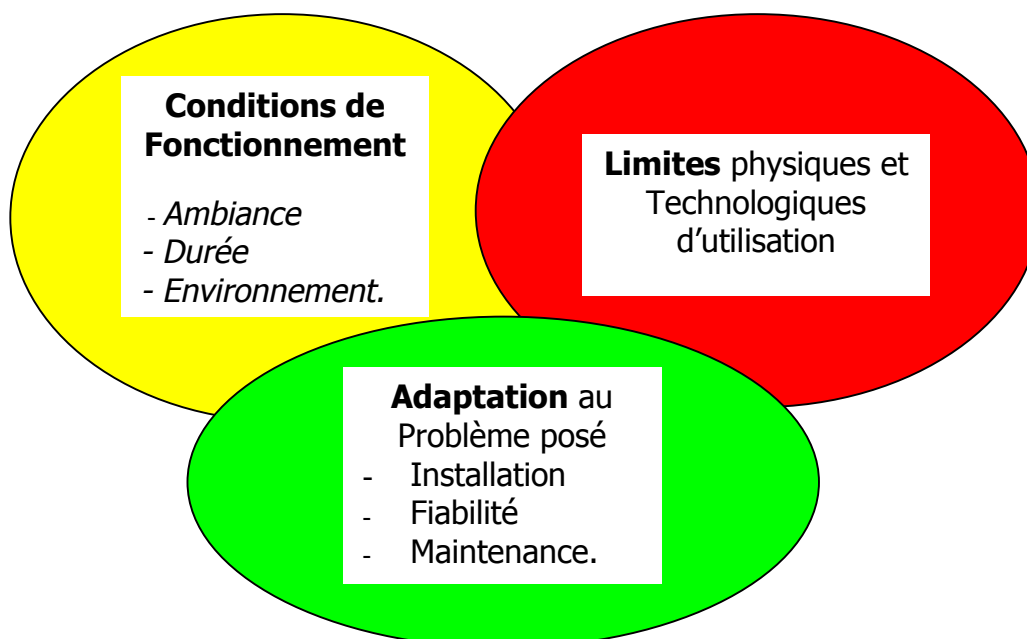
$$\sigma = \Delta S / \Delta m \quad \text{soit la variation de la Sortie / variation de la mesure.}$$

### 3.3 - Temps de réponse ( $Tr$ ) – rapidité :

- $Tr$  est un critère d'appréciation des performances dynamiques du capteur, qui se comporte comme un filtre passe-bas.
- le Temps de réponse qualifie la rapidité du capteur à transmettre l'information.  $Tr$  dépend fortement de la situation du point de mesure.

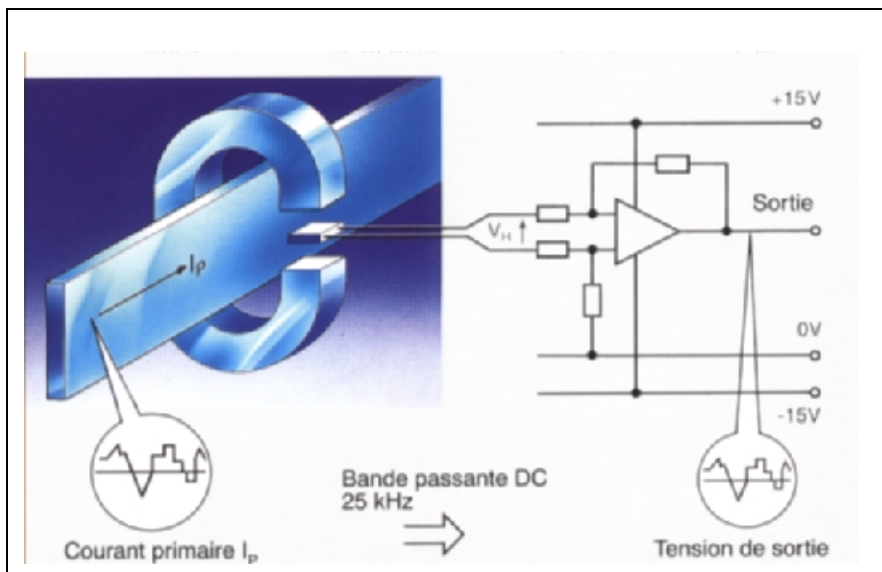
**3.4 – Finesse :** Est une spécification qui permet d'évaluer l'influence du capteur sur la grandeur à mesurer. Dépend du capteur et du système à mesurer.

## 4 - Critères de choix d'un capteur :



5.1 - Principe physique de l'effet Hall.  Voir dossier ressources : « Effet Hall ».

## 5.2 - Capteur a boucle ouverte

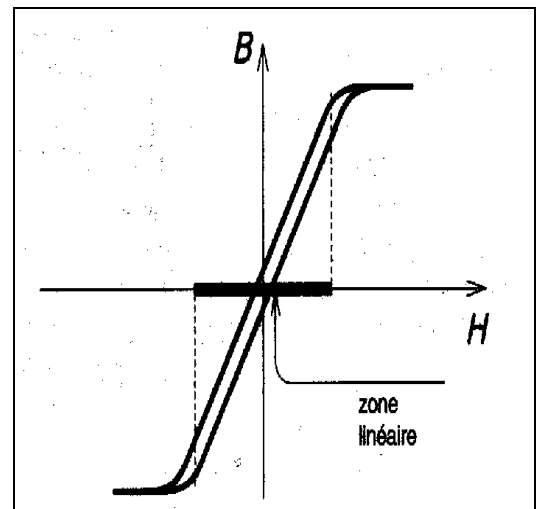
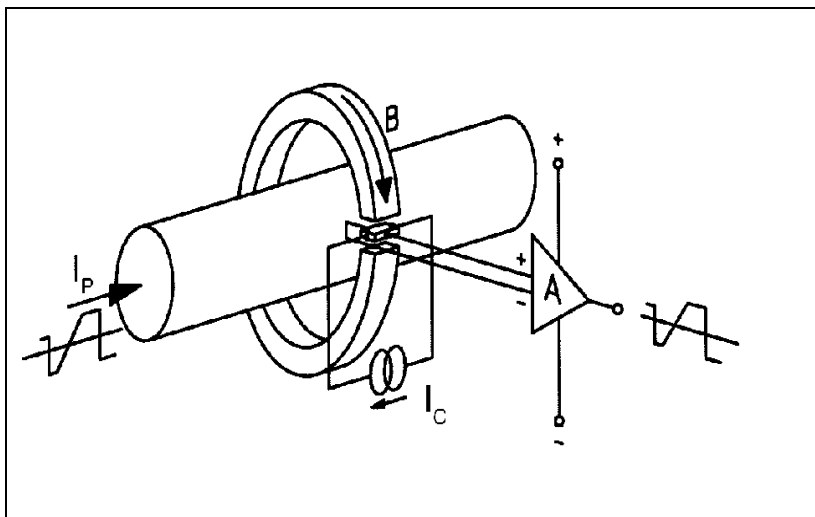


Les capteurs à boucle ouverte exploitent l'effet Hall.

La tension du générateur de Hall est générée par le courant de cde  $I_c$  et par l'induction dans l'entrefer  $B_{pe}$ .

Le courant de c<sup>de</sup>  $I_c$  est fourni par une source à courant constant. Le courant  $I_p$  génère l'induction  $B_{pe}$ .

Dans la zone linéaire du cycle d'hystérésis,  $B_{pe}$  est proportionnel à  $I_p$  tel que :  $B_{pe} = a \cdot I_p$



Un entrefer « d » important linéarise le cycle d'hystérésis et réduit notablement la tension d'offset liée à l'induction rémanente  $B_r$  du circuit magnétique. Mais l'entrefer augmente les risques de fuite magnétiques, pouvant perturber la tension de Hall :  $V_H$ .

Les capteurs de courants à **boucle ouverte** du fait de leur bande passante limitée à 25kHz sont assez bien adaptés aux applications industrielles ne nécessitant pas de performances précision et fréquence de fonctionnement élevées.

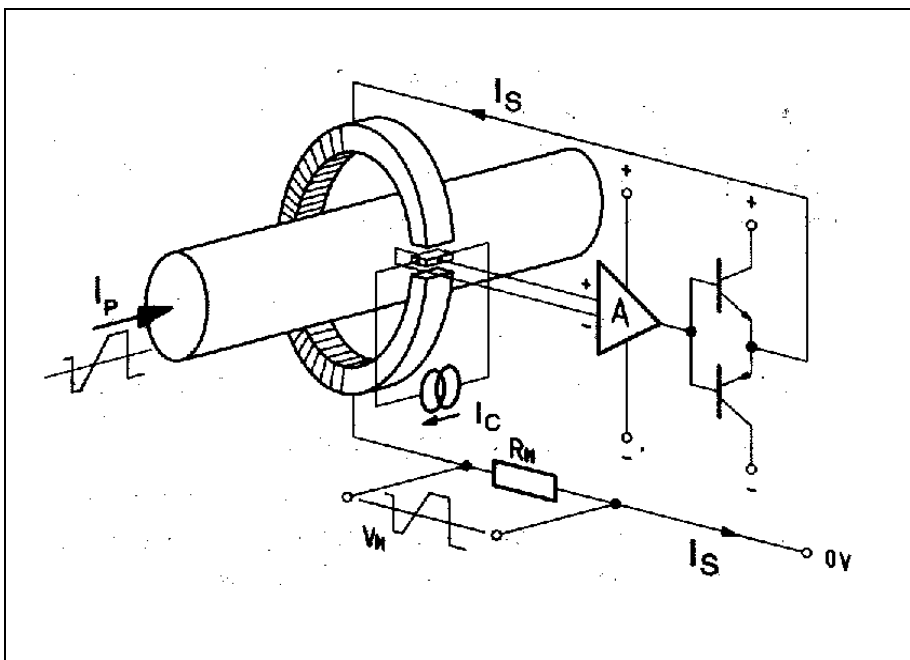
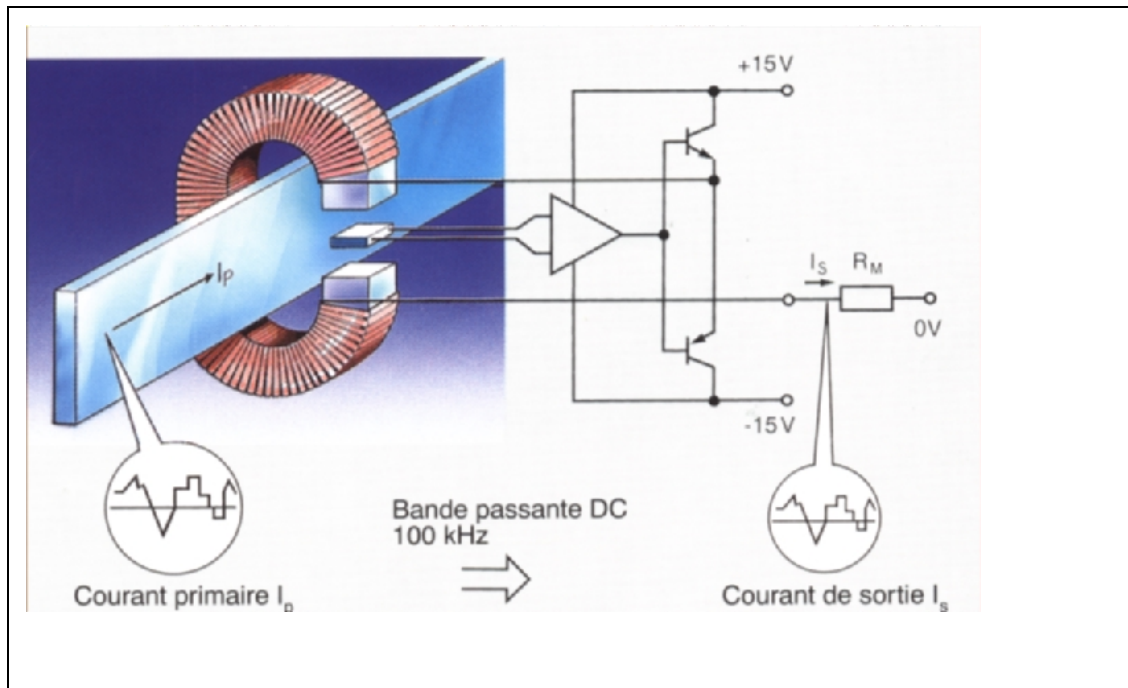
Cette gamme vise plutôt des critères économiques.

Plage de mesure : 0.....18000A  
Bande passante : 0...25kHz

Précision typique :  $\pm 1\%$   
Linéarité :  $\pm 0.5\%$   
Temps de réponse : <3 à  $7\mu s$

On rappelle que pour une sonde de Hall d'épaisseur  $d$  :  $V_H = (K/d) \cdot I_c \cdot B_{pe} = \lambda \cdot I_p$ .  
La tension de Hall, signal  $V_H$  est ensuite amplifiée pour fournir  $V_s = V_{out}$ .

### 5.3 - Capteur a boucle fermée



Les capteurs à boucle fermée dits aussi à flux nul, possèdent un circuit de compensation intégré qui améliore notablement les performances.

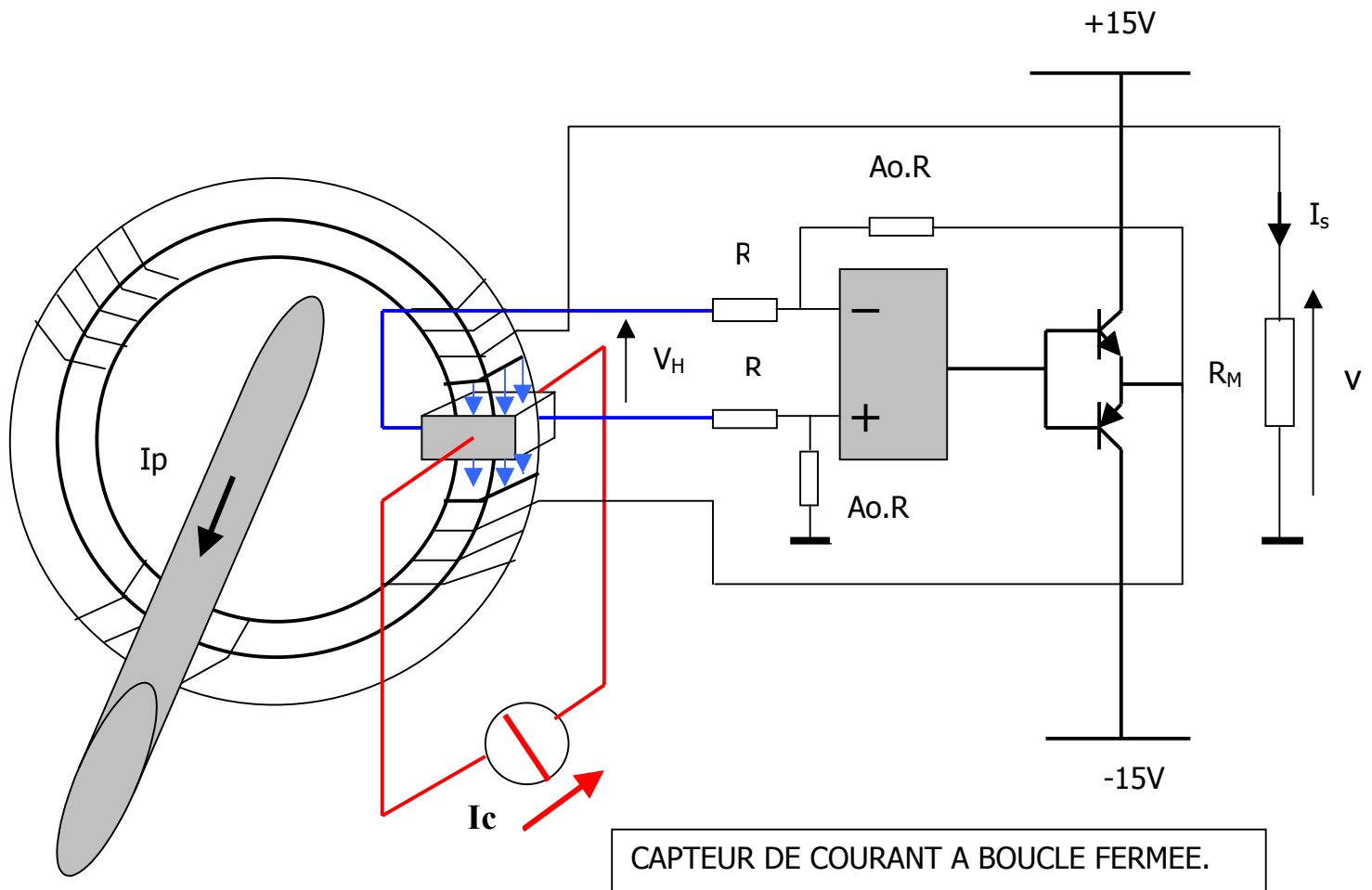
Les capteurs à boucle fermée délivrent un courant secondaire  $I_s$  proportionnel à la tension de Hall  $V_H$ , lequel agit en signal de contre réaction afin de compenser les  $A_t$  primaire par des  $A_t$  secondaires opposés.

Le courant  $I_s$  est réduit à qq dizaine de mA. On choisi  
 **$N_p \cdot I_p + N_s \cdot I_s = 0$**

- Capteur de courant à boucle fermée -

Bien adaptés aux applications industrielles exigeantes en performances, précision et Bande Passante. Les capteurs à **boucle fermée** se distinguent par :

- Une excellente précision :  $\pm 0.5\%$
- Une très bonne linéarité :  $\pm 0.1\%$
- Un temps de réponse très court :  $< 1\mu s$
- Une bande passante élevée : 0 à 200 kHz.



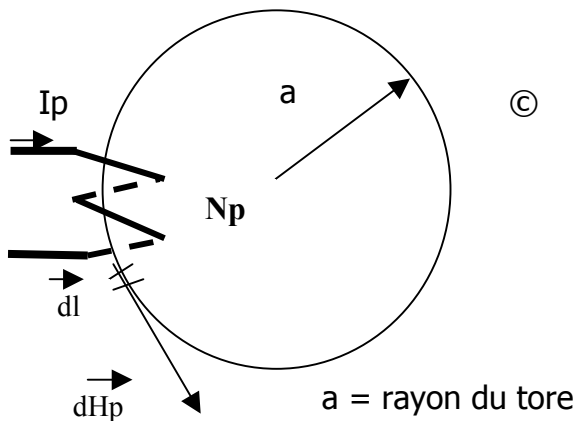
CAPTEUR DE COURANT A BOUCLE FERMEE.

Ce Type de capteur de courant à effet Hall, exploite le principe de la compensation des At au primaire et au secondaire. (Capteur de courant à flux nul).

On insère ds l'entrefer d'un CM torique, une sonde de courant à effet Hall.

Le CM par analogie avec un transfo de courant, est constitué :

- d'une bobine secondaire de Ns spires ( fils fins de l'enroulement de compensation).
- D'un bobinage primaire de Np spires ( gros fils) dans lequel circule le courant i1(t) à mesurer. Ce courant à travers les np spires va créer un champ Hp le long du tore.



Théorème d'Ampères :

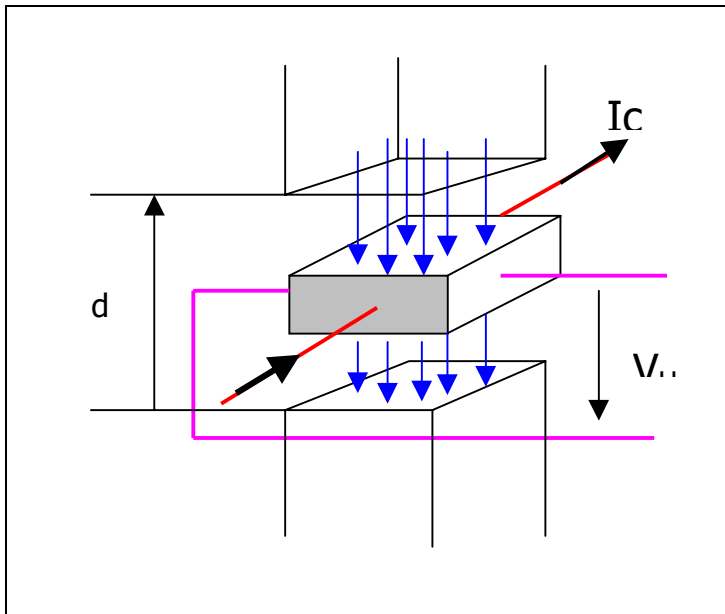
$$N_p \cdot I_p = \int_{\odot} H_p \cdot dl$$

$$N_p \cdot I_p = H_p \cdot \int_{\odot} dl = H_p \cdot 2\pi \cdot a$$

$$H_p = N_p \cdot I_p / 2\pi \cdot a$$

Ce champ Hp crée ds l'entrefer une induction radiale  $B_{pe} = \mu_0 \cdot H_p$

$$B_{pe} = \mu_0 \cdot N_p \cdot I_p / 2\pi \cdot a$$



Dans ces conditions de polarisation par le courant de cde  $I_c$  et de l'induction  $B_{pe}$ , il apparaît aux bornes du capteur de Hall une tension  $V_H$  soit :

$$V_H = R_H \cdot I_c \cdot B_{pe} / d$$

$$V_H = R_H \cdot I_c \cdot \mu_0 \cdot N_p \cdot I_p / 2\pi \cdot a \cdot d$$

En posant :

$$K_H = R_H \cdot \mu_0 \cdot N_p \cdot I_c / 2\pi \cdot a \cdot d = C^{te}$$

$$V_H = K_H \cdot I_p$$

$V_H$  est l'image de  $I_p(t)$  à  $K_H$  près.

La tension  $V_H$  issue du générateur de Hall est faible et doit-être amplifiée.

La tension de Hall  $V_H$  est ensuite appliquée à l'entrée d'un AOP différentiel, constitué d'un AOP et d'un étage Push - Pull.

Cet amplificateur différentiel, globalement a un très fort gain en tension.  $A_v = s / V_H$

L'amplificateur débite alors un courant  $I_s$  à travers l'enroulement secondaire de  $N_s$  spires en fils fins dit de compensation. Dans les  $N_s$  spires, le courant  $I_s$  va créer un champ  $H_s$  égale à  $H_p$  tel que le flux résultant soit nul dans le tore. Capteur de courant à flux nul.

$$N_p \cdot I_p = N_s \cdot I_s \text{ (compensation des } A_t \text{)}.$$

D'où  $I_s = N_p \cdot I_p / N_s = m \cdot I_p$   $I_s$  dépend donc de  $m$  et de  $I_p$  ;  $m = N_p / N_s$

Comme  $I_s = v / R_M$  et  $I_{s_{max}} = v_{max} / R_M$

Avec  $v_{max} < U - R_i \cdot I_{s_{max}}$

D'où  $v_{max} = (R_M)_{max} \cdot I_{s_{max}}$

**RQ** : Le courant de compensation  $I_c = I_s$  est une image du courant primaire  $I_p$ . Pour améliorer la précision dans le capteur, il sera nécessaire de bobiner un nb important de spires au secondaire.

Il en résultera ainsi, une augmentation de l'inductance de fuites et de la capacité parasite de l'enroulement.

On ne s'étonnera donc pas des conséquences directes qui se traduiront par une limitation de la bande passante. 25kHz en BO et 200kHz en BF.

**AN** : Capteur LEM LA 25-NP à boucle fermée de courant.

$$v_{max} < U - R_i \cdot I_{s_{max}} \rightarrow v_{max} < 15 - 110 \cdot 25 \text{mA} \text{ soit } v_{max} < 12.25 \text{V}$$

$$v_{max} = (R_M)_{max} \cdot I_{s_{max}} = 320 \cdot 25 \text{mA} = 8 \text{V}$$



**LEM****LA 25-NP****Capteurs de courant multi-calibres 5-6-8-12-25 A****Définition**

Le «LA 25-NP» est un capteur de courant multi-calibres. Basé sur le principe de la compensation magnétique, il permet une mesure électronique des courants continus, alternatifs, impulsionnels et mixtes avec isolation galvanique.

**Caractéristiques électriques**

Courant nominal $I_n$	: 25 A.t eff.	
Plage de mesure	: 0 à $\pm 36$ A.t	
Résistance de charge	: $R_n$ min.	$R_n$ max.
avec $\pm 15$ V	: 100 ohms	320 ohms
à $\pm 25$ A.t max.	: 100 ohms	190 ohms
à $\pm 36$ A.t max.		
Courant de sortie analogique nominal	: 25 mA	
Rapport de transformation	: 1-2-3-4-5 / 1000	
Précision typique à $+25^\circ\text{C}$	: $\pm 0,5$ % de $I_n$	
Tension d'alimentation	: + et - 15 V ( $\pm 5$ %)	
Tension d'essai diélectrique	: entre primaire et secondaire : 2,5 kV eff./50Hz/1 min.	

**Précision - Performances dynamiques**

	Typique	Max.
Courant d'offset $I_{os}$ à $I$ prim. nul, à $25^\circ\text{C}$ *	: $\pm 0,05$ mA	$\pm 0,15$ mA
Courant résiduel** $I_{rc}$ à $I$ prim. nul, à $25^\circ\text{C}$ après une surintensité primaire de $3 \times I_n$	: $\pm 0,05$ mA	$\pm 0,15$ mA
Dérive en température du courant d'offset $I_{os}$		
de $0^\circ\text{C}$ à $+25^\circ\text{C}$	: $\pm 0,06$ mA	$\pm 0,25$ mA
de $+25^\circ\text{C}$ à $+70^\circ\text{C}$	: $\pm 0,1$ mA	$\pm 0,35$ mA
Linéarité	: inférieure à $\pm 0,2$ %	
Temps de retard à 90 % de $I_p$ max.	: inférieur à 1 $\mu\text{s}$	
Bande passante (-1dB)	: DC à 150 kHz (-1dB)	

**Caractéristiques générales**

Plage de température de service	: de $0^\circ\text{C}$ à $+70^\circ\text{C}$
Plage de température de stockage	: de $-25^\circ\text{C}$ à $+85^\circ\text{C}$
Consommation	: 10 mA + courant de mesure
Résistance interne primaire	: inférieure à 1,25 mohm/spire
Résistance interne secondaire	: 110 ohms (à $+70^\circ\text{C}$ )
Résistance d'isolement	: $> 1500$ Mohm (à 500 V et $+25^\circ\text{C}$ )
Poids	: 22 g
Exécution	: moulé dans un boîtier en matière isolante autoextinguible.
Sens du courant	: un courant de mesure positif est obtenu sur la borne «M» lorsque le courant primaire circule depuis les bornes 1, 2, 3, 4 et 5 vers les bornes 10, 9, 8, 7 et 6.

950213/6

**LEM SA**

CASE POSTALE 785  
CH-1212 GRAND-LANCY 1  
GENEVA, SWITZERLAND



CHEMIN DES AUX 8  
CH-1228 PLAN-LES-OUATES  
GENEVA, SWITZERLAND



TEL: 022/ 706 11 11  
FAX: 022/ 794 94 78  
TELEX: 429 422 LEM CH

**Note :** Ce modèle est un type standard, pour des caractéristiques ou exécutions différentes (par ex. : tension d'alimentation, rapports de transformation, mesure unidirectionnelle, etc...), veuillez nous consulter.

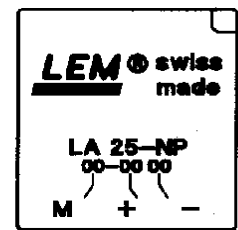
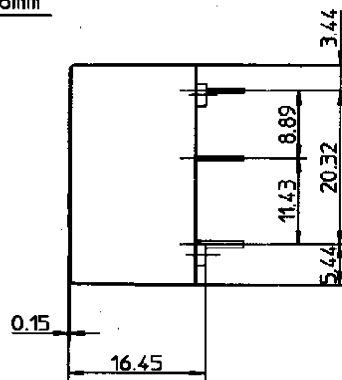
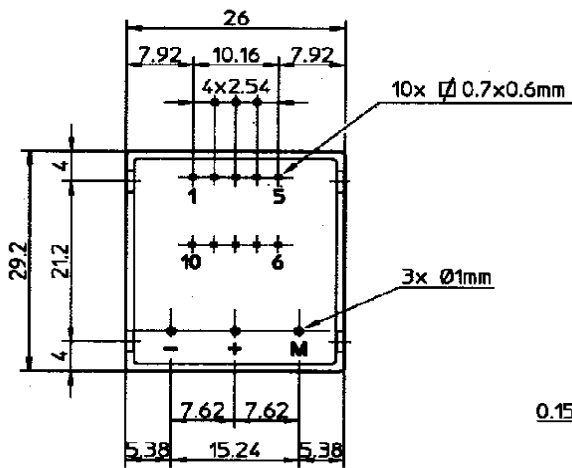
\* Mesure effectuée après 15 minutes de mise sous tension.

\*\* Conséquence du champ coercitif des éléments magnétiques.

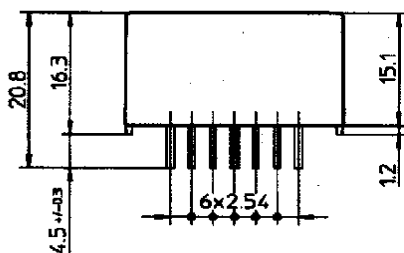
Nombre de spires primaires	Courant primaire		Courant sortie nom. $I_s$ [mA]	Rapport de transformation	Résistance primaire [mOhm]	Inductance d'insertion primaire [ $\mu$ H]	Raccordement recommandé
	nominal $I_N$ [A]	maximum $I_T$ [A]					
1	25	36	25	1/1000	0,3	0,023	
2	12	18	24	2/1000	1,1	0,09	
3	8	12	24	3/1000	2,5	0,21	
4	6	9	24	4/1000	4,4	0,37	
5	5	7	25	5/1000	6,3	0,58	

Tolérance générale  $\pm 0,2$  mm

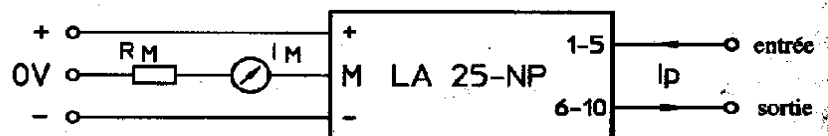
Diamètre de perçage recommandé  $\pm 1,2$  mm



Standard 00 ou N° SP..      année Date      semaine code



**Raccordement**



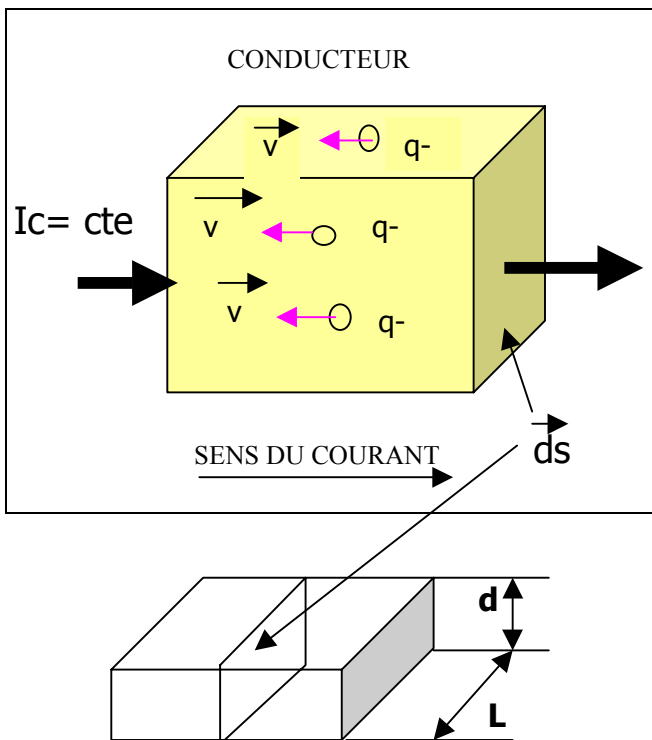
Nous nous réservons le droit d'apporter certaines modifications sur nos capteurs, dans le sens d'une amélioration, ceci sans avis spécial.

## 7 – Autres capteurs :

	Mesure du continu	Gamme de mesure (A)	Fréquence maximale	Isolement galvanique	Précision	Réalisation technologique	Immunité aux champs externes
Shunt	Oui	$1-10^2$	qq 10 MHz	Non	< 0.1% à 1%	Simple	Bonne
Capteur à effet Hall	Oui	$1-10^4$	100 kHz	Oui	2-5%	Simple	Faible
Transformateurs de courant (selon calibre)	Non	$10^{-3}-10^3$	qqs 10 Hz à qqs 10 MHz	Oui	< 0.1%	Simple	Bonne
Capteurs à flux nul	Oui	$10-10^4$	qqs 10 kHz	Oui	1%	Moyen	Faible
Capteurs à champ nul	Oui	$10^3$	qqs kHz	Oui	1 ppm	Complexe	Bonne
Sondes actives, (effet Hall + TC)	Oui	$1-10^3$	qqs 10 MHz	Oui	1%	Complexe	Moyenne
Transformateurs amagnétiques	Non	$10^2-10^5$	qqs MHz	Oui	2-5%	moyen	Faible
Capteurs à fibres optiques	Oui	$10^2-10^5$	qqs 10 MHz	Oui	0.2%	Complexe	Très bonne

**Tableau 1 : Principaux types de capteurs de courant**

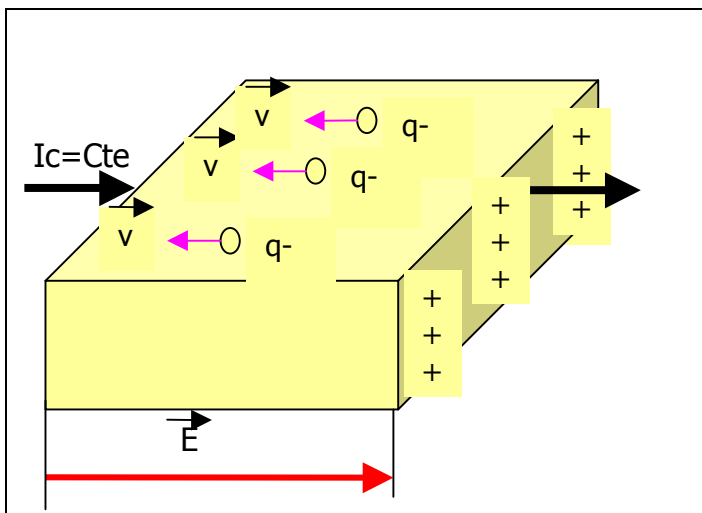
### 1- Notions de Charges électriques, de courant et de densité de courant :



**HYPOTHESES :**

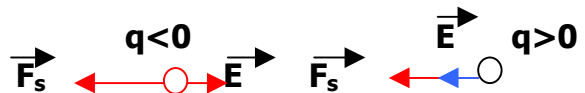
- 1 - Vitesse de déplacement des charges = cte
- 2- Concentration des charges = cte soit :  $n/m^3$
- \_qté d'électricité élémentaire :  $dq = n \cdot q \cdot v \cdot ds \cdot t$
- \_Intensité du ct à travers ds :  $dI = dq/dt$
- $dI = n \cdot q \cdot v \cdot ds$
- \_ densité de courant à travers ds :
- $J = n \cdot q \cdot v$  d'où  $dI = J \cdot ds$
- $I = J \cdot S$  et  $S = L \cdot d$

### 2- Champ électrique $E$ :



Un conducteur parcouru par un courant constant crée un champ électrique  $E$  qui met en mvt les électrons libres du solide.

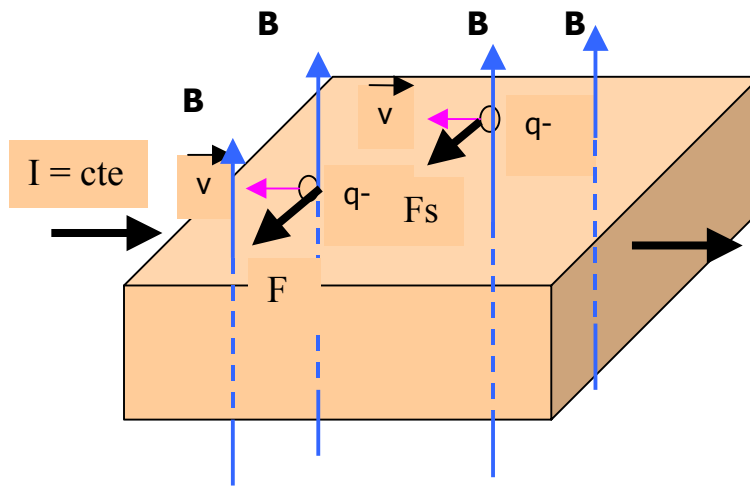
Il en résulte une force électrostatique  $F_s$  résultante de  $E$  :  $F_s = q \cdot E$



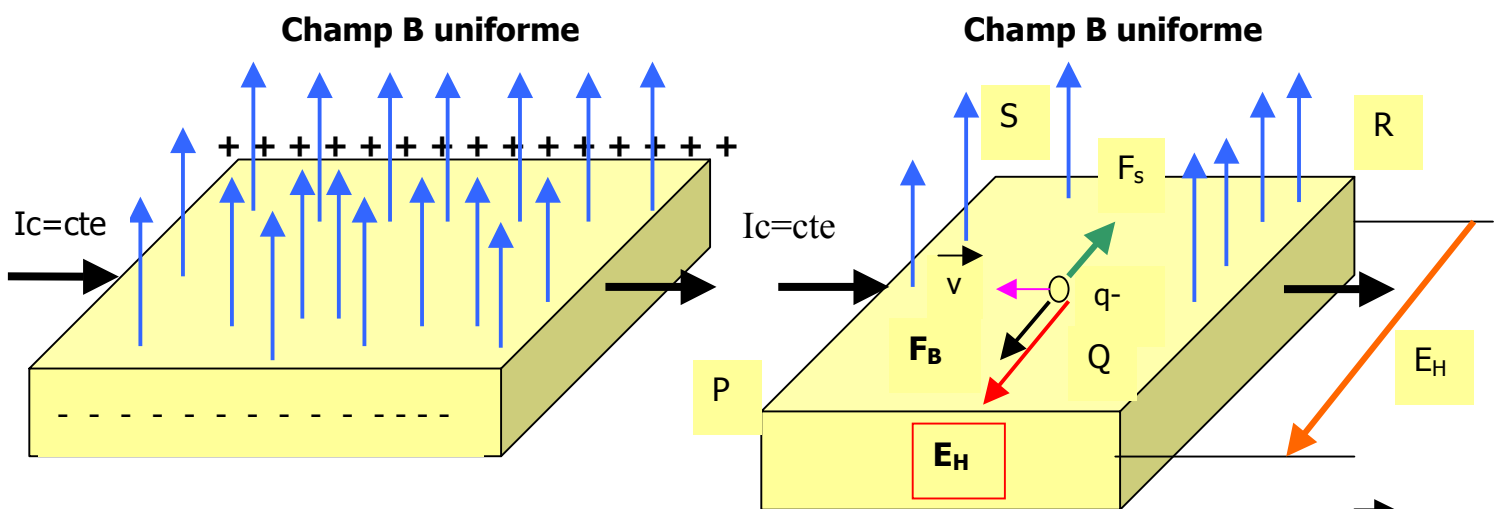
### 3- Champ magnétique $B$ :

Une charge  $q$  animée d'une vitesse  $v$ , placée dans un champ magnétique  $B$  est soumise à une force de Lorentz - Laplace.

$$F_B = q \cdot v \wedge B$$



**4- Champ de Hall – Tension de Hall :**



Les 2 répartitions de charges produisent dans le conducteur un champ électrostatique  $\vec{E}_H$  appelé champ de Hall.

- Ce champ est parallèle à PS et dirigé de S vers P si  $q < 0$ .

- Ce champ exerce sur les porteurs une force électrostatique  $\vec{F}_S$  qui tend à compenser  $\vec{F}_B$ .

A l'équilibre :  $\vec{F}_S = -\vec{F}_B$

soit :  $q \cdot \vec{E}_H = -q \cdot \vec{v} \wedge \vec{B} \Rightarrow \boxed{\vec{E}_H = -\vec{v} \wedge \vec{B}}$  (en V/m)

Tension de Hall  $U_H$  : Le champ dérive des potentiels par définition.

$\Rightarrow E_H = - (dV_H / dt) = - U_H / L$

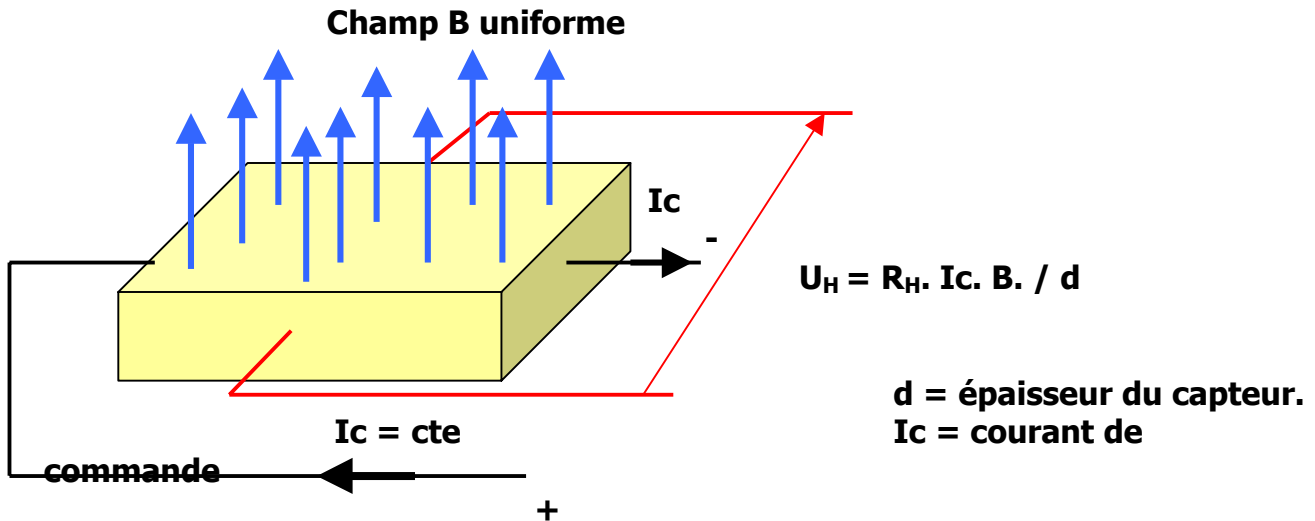
soit  $\vec{U}_H = -\vec{E}_H \cdot L = L \cdot \vec{v} \wedge \vec{B}$

En faisant intervenir le courant I on trouve que :  $\vec{v} = \vec{J} / (n \cdot q) = \vec{I} / n \cdot q \cdot L \cdot d$

D'où  $U_H = I / n \cdot q \cdot d \wedge B$  or  $I \perp B \Rightarrow U_H = R_H \cdot I \cdot B / d = V_H = \mathbf{R}_H \cdot \mathbf{I} \cdot \mathbf{B}_{pe} / d$   
 $> R_H$  grandeur algébrique est appelée Cte de Hall.  $R_H = 1 / n \cdot q$  en  $(C^{-1} \cdot m^3)$

C'est l'inverse de la densité des charges mobiles. Elle caractérise le matériau conducteur.

### 5- Influence du matériau conducteur :



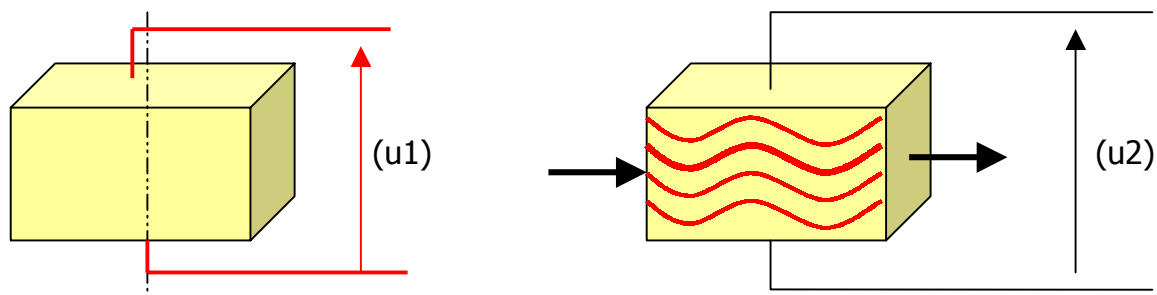
Matériaux	$R_H$	$\theta$ de mesure °C	Charges mobiles
Argent	-8.4 .E-11	20	électrons
Cu	-5.5. E-11	20	électrons
Alu	-3.0. E-11	20	électrons
Ge	8.0. E-3	20	Trous
In	7.0. E-3	20	Trous
As In	2.0. E-3	100	Trous
As In Ph	4.0. E-3	100	Trous

**Ex :** pour un capteur au germanium Ge à 20°C  $I_c=30mA$  ;  $B=0.1T$  ;  $d= 0.5mm$

$U_H = 48 mV$  à 2%

### 6- Imperfections des générateurs de Hall :

- 1) Fluctuations de  $R_H$  avec la température ds [-40 à 120°C]
- 2) Non équipotentialité par défaut d’alignement des soudures des électrodes.  
→ d’où une chute de tension résiduelle ohmique (  $u_1$  )
- 3) non parallélisme des lignes de courant de commande.  
→ d’où une d. d. p d’erreur (  $u_2$  )



La tension de Hall peut-être corrigée par des composants de compensation ( CTN, R1,R2).

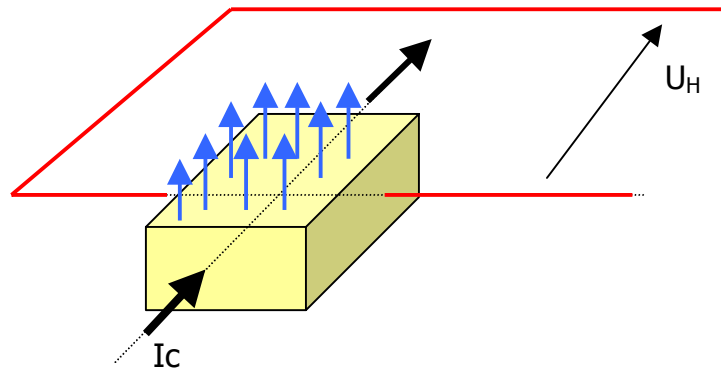
### 7- Applications de l'effet Hall :

I- Mesure des courants  
 → ( voir cours capteur de Hall)

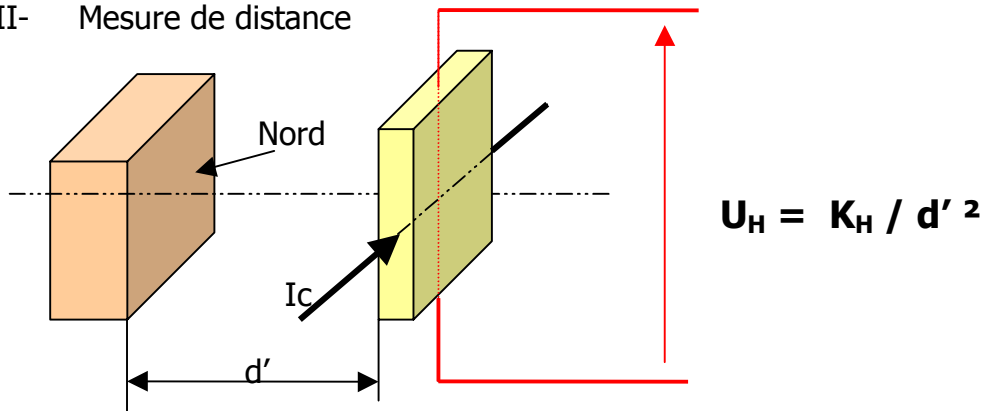
II- Mesure des flux

$U_H = K_H \cdot I_c \cdot B$   
 $B = U_H / K_H$   
 et  $\Phi = B \cdot S$

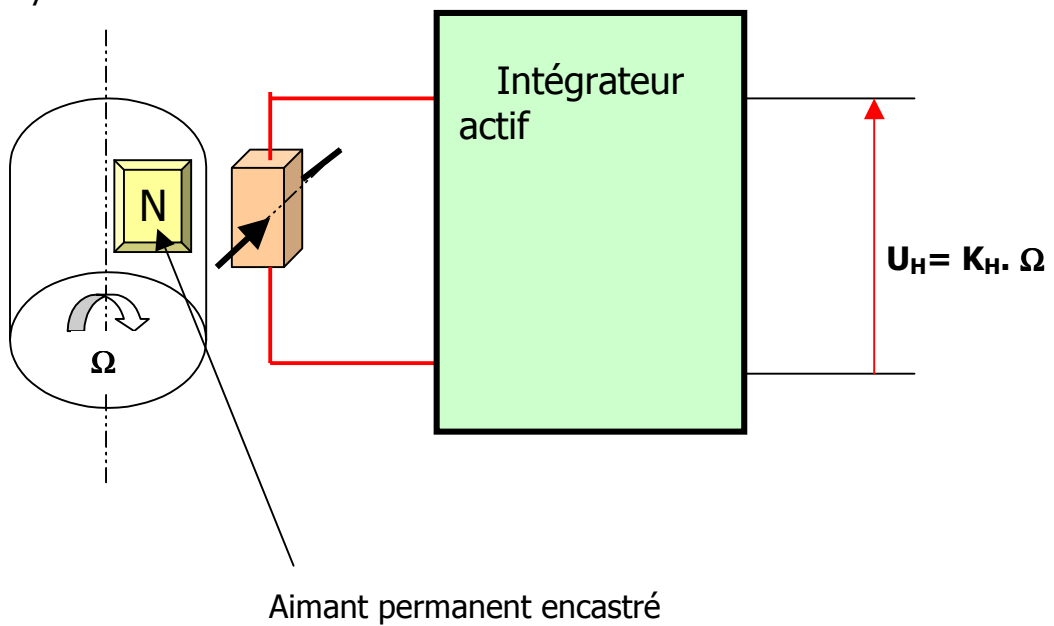
**$\Phi = U_H \cdot S / K_H$**



III- Mesure de distance



IV- Tachymètre à effet Hall



**TD1 : Mise en œuvre d'une sonde LEM ref : LA25-NP**

On veut mesurer dans des conditions optimum un courant efficace  $I_p \in [0,25A]$  à l'aide d'une sonde de courant LEM LA-25NP.

On appelle  $V_m$  la tension aux bornes de la résistance de mesure  $R_m$  et  $I_2$  le courant dans  $R_m$ .

\* Données générales constructeur :  $|U| = 15V$  ;  $R_i = 110\Omega$  ;  $(R_m)_{Max} = 320\Omega$  ;  $n_2 = 1000$ .

Q1 : Compléter le tableau ci-dessous en précisant dans quelles conditions peut-on obtenir une sensibilité «  $\sigma = I_{p_{max}} / (V_m)_M$  » de **1A / V** à environ 5% près ? Avec les données générales, étudier les 3 valeurs de  $I_p$  proposées et conclure.

 Se reporter avec profit aux documents constructeurs, joints avec le cours.

$I_{p_{max}}$	$n_1$	$m$	$n_1 \cdot I_p$ (A.t)	$I_{2M}$ (mA)	$V_m < (V_m)_M$ $V_m <  U  - R_i \cdot I_{2M}$	V mesurée $V_m = (R_m)_{Max} \cdot I_{2M}$	$\sigma$ (A/V)	Croquis des Liaisons à faire.
25 A	1		25					
12 A	2		24					
8 A	3		24					

Q2 : En pratique on supposera la mesure d'un ct primaire  $I_{p_{max}} = 10A$  et  $n_1 \cdot I_{p_{max}} = \pm 20$  A.t.

On demande de recalculer  $R_m$  ? pour obtenir une sensibilité précise de: **1A/V**

corrige

Rep Q1 :

$I_{p_{max}}$	$n_1$	$m$	$n_1 \cdot I_p$ (A.t)	$I_{2M}$ (A)	Condition const. $V_m <  U  - R_i \cdot I_{2M}$	V mesurée $V_m = (R_m)_M \cdot I_{2M}$	$\sigma$ (A/V)	Croquis des Liaisons.
25 A	1	1/1000	25	$25 \cdot 10^{-3}$	$V_m < 12.25V$	8.00V ok	3,125	
12 A	2	2/1000	24	$24 \cdot 10^{-3}$	$V_m < 12.36V$	7.68V ok	1,563	Voir doc
8 A	3	3/1000	24	$24 \cdot 10^{-3}$	$V_m < 12.36V$	7.68V ok	1,042	

Conclusion : La sensibilité requise est obtenue à 5% près, pour  $n_1 = 3$  spires et  $I_{p_{max}} = 8A$  avec les données générales.

Rep Q2:  $n_2 = 1000$  sp ;  $I_{p_{max}} = 10A$

H ( cas 2):  $n_1 = 2$  spires ;  $\rightarrow I_{2M} = 20$  mA ;  $V_m < |U| - R_i \cdot I_{2M} = 15 - 110 \cdot 20 \cdot 10^{-3}$   
 $V_m < 12,8V$  condition à vérifier.

On veut :  $\sigma = I_{p_{max}} / V_m = 1A / V \rightarrow$  donc  $V_m = 10$  Volts donc  $V_m < 12,8 V$ . (ok) !

Comme :  $V_m = R_m \cdot I_{2M} \rightarrow R_m = V_m / I_{2M} = 10 / 20 \cdot 10^{-3} = 500 \Omega$

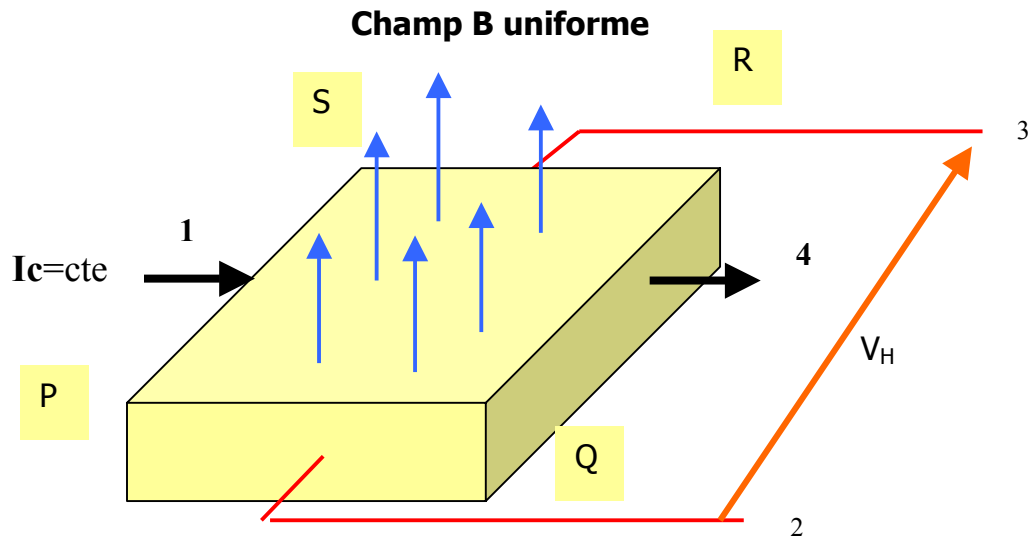
RQ : en posant :  $V' = I_2 \cdot (R_i + R_m) = 12,2 V$

\* On retrouve si nécessaire :  $(V_{ce})_{sat} = |U| - V' = 15 - 12,2 = 2,8 V$



**TD2 : Générateur de Hall – Approche physique.** D'après TD – Michel Girard – IUT Cachan.

Le générateur de Hall est une plaquette de Si, parcourue par un courant constant de commande  $I_c$  entre les bornes 1 et 4.



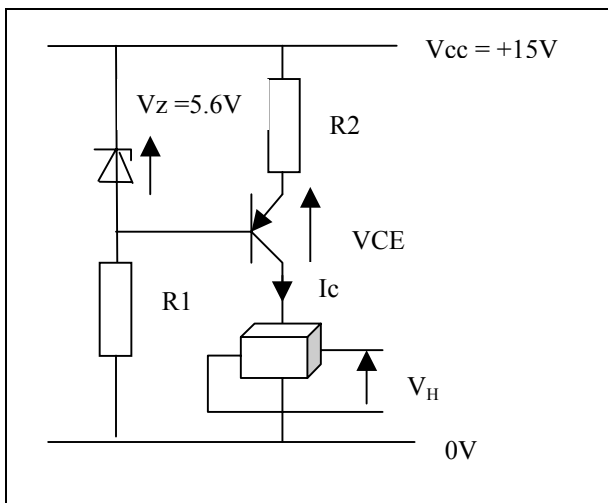
- 1) Quelle est la valeur typique du courant de cde  $I_c$  ?
- 2) Quelle est la sensibilité de la sonde pour ce courant de cde ?
- 3) Quelle tension ou f.e.m de Hall  $V_H$  peut-on obtenir pour  $B_{pe} = 0.1T$  ? ( $1\text{Gauss} = 10^{-4}T$ ).

Tableau constructeur- Electrical characteristics at +25°

characteristic	symbol	Test conditions	limites		Units	
Control current	$I_{cc}$	-	-	3.0	7.0	mA
Control Resistance	$R_{1-4}$	-	1.0	2.2	4.5	k $\Omega$
Control Resistance vs.temperature	$\Delta R_{1-\Delta T}$	-	-	+0.8	-	%/°C
Differential output resistance	$R_{2-3}$	B=0 Gauss	2.0	4.4	9.0	k $\Omega$
Output offset voltage	$V_{off}$	B=0 Gauss	-	5.0	-	mV
Output offset voltage Vs.Temp	$V_{off}/\Delta T$			30	-	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Sensitivity « $\sigma$ »	$V_{out}/\Delta B$	$I_{cc} = 3\text{mA}$	-	0.06	-	$\mu\text{V}/\text{G}$
Sensitivity vs.temperature	$V_{out}/\Delta B$	$I_{cc}=1.5\text{mA}$	-	+0.1	-	%/°C
	$\Delta T$					
Product Sensitivity	V/A* kG		-	20	-	-

Corrigé

- 1)  $I_{cc \text{ typ}} = 3\text{mA}$
- 2) Sensibilité :  $\sigma = V_{out} / \Delta B = 0.06 \text{ mV/G}$
- 3) or  $B=0.1T = 10^3 \text{ Gauss} \rightarrow V_H = 60\text{mV}$

**TD3 : Générateur de Hall – Alimentation.** D'après TD – Michel Girard – IUT Cachan.

Le courant typique de cde  $I_c$  est fourni par une source de courant utilisant un transistor 2N2904 dont le gain en courant  $\beta = 100$ .

1) Indiquez les valeurs de  $R_2$ ,  $R_1$  pour que la tension maxi aux bornes du générateur de Hall ne dépasse pas 7V.

On donne :

$$V_z = 5.6 \text{ V} ; \quad V_{CE} = 3 \text{ V} ; \quad I_z = 2 \text{ mA}.$$

**Corrigé**

$$I_c \text{ typ} = 3 \text{ mA}$$

$$V_H = R_2 \cdot I_c = 15 - (7 + 3) = 5 \text{ V}$$

$$\rightarrow R_2 = 1.66 \text{ k} ;$$

$$I_b = I_c / \beta = 30 \mu\text{A}$$

$$I_z = 2 \text{ mA} \rightarrow I_{R1} = I_b + I_z = 2030 \mu\text{A}$$

$$R_1 = (V_{cc} - V_z) / I_{R1}$$

$$\rightarrow R_1 = 4.7 \text{ k} ;$$