



جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان

Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie Biomédical

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de

MASTER en GENIE BIOMEDICAL

Spécialité : Instrumentation Biomédicale

Présenté par : - HAMMA Khalissa
-MAHDJOUBI Samia

DETECTEUR DE CHAMP MAGNETIQUE

Soutenu le 19 Septembre 2017 devant le Jury

M.	KERAI Salim	<i>MCA</i>	Université de Tlemcen	Président
M	HAMZA CHERIF Lotfi	<i>MCA</i>	Université Tlemcen	Examineur
M	DEBBAL Sidi Mohamed Amine	<i>Prof</i>	Université Tlemcen	Encadreur

Année universitaire 2016-2017

Remerciements

*Ce travail a été entrepris au Laboratoire du Génie Biomédicale de la faculté de technologie de l'Université Abou-Bakr Belkaid sous la direction de Monsieur **DEBBAL Sidi Mohamed**, que nous remercions d'avoir pris en charge la direction de notre mémoire de fin d'étude. Malgré son emploi du temps chargé, nous a fait profiter de ses conciles et ses suggestions pertinentes. Grâce à sa rigueur scientifique, il a su nous aider au travers de nos interrogations. Il a été toujours disponible et à l'écoute de nos raisonnements. Pour toutes les moments qu'il nous a consacrés, qu'il retrouve ici le témoignage de notre profonde gratitude.*

*Nous ne sommes très honorés que Monsieur **KERAI Salim** maitre de conférences (A) à la faculté de Technologie ait accepté de présider le jury de ce travail de mémoire de PFE. Nous voudrions bien le remercier.*

*Nous sommes très heureuses de la présence de notre jury Monsieur **HAMZA CHERIF Lotfi**, maitre de conférence (A) à la même faculté en tant qu'examinateur.*

Il s'est montré toujours disponible pour les discussions scientifiques. C'est également un grand plaisir pour nous d'avoir en sa personne un représentant de la chaleureuse et dynamique équipe l'électronique Biomédicale.

*Nous voudrions bien remercier le professeur **BEREKSI REGUIG Fethi**, qui a assuré notre formation du 1^{er} et 2^{ème} cycle. Ses savoir-faire qui touchent à plusieurs domaines, ses bienveillances sont d'un apport considérable dans la rigueur scientifique.*

La collaboration de l'ensemble des enseignants ayant assuré notre formation qu'ils soient vivement remerciés. C'est eux qui nous ont guidé nos premiers pas vers ce monde merveilleux de l'électronique.

Nous tenons aussi à remercier certains collègues et nos amis de l'université de Tlemcen avec lesquels nous avons appris énormément de choses et dans divers domaines.

Dédicaces

Avec l'aide de dieu clément, on a pu réaliser ce modeste mémoire qui est le fruit d'un long et dure travail.

Je dédie ce travail avec grande joie et cœur ouvert à mes très chers parents qui m'ont soutenu et encouragé avec leurs présences et leurs participations actives durant mes études. Un grand merci pour eux,

Ensuite, à ceux qui me sont très chers mon beau père et ma belle mère je leur dédie ce travail de fin d'étude.

*En fin, je ne saurais oublier mes frères **BILAL** et **Nadjim** et mes sœurs **TAKLITE**, **HAYAT**, **SALIHA** et **KATIA** pour leurs soutien morale. Mes tantes paternelles et maternelles pour leurs soutiens inconditionnels.*

*Sans jamais oublier mon fiancé **ABD EL HALIM** qui a été toujours disponible à chaque fois que je sollicite son aide et ses conseils. Leurs frères **TAHAR**, **SAMI** et leurs sœurs **NAWAL**, **SANDRA**, Un grand merci pour eux,*

*Je voudrai bien dédier ce travail à mes amies **ROSA**, **TINHINANE**, **KARIMA**, **FARJEL**, **ZINEB**, **KELTOUM**, **IKRAM** à tous mes collègues de l'université de Tlemcen avec qui j'ai passé de bons moments de joie et de détente.*

A tous, ceux que j'ai cités et à ceux qui ne sont pas cités, à tous qui m'ont apporté à un moment ou un autre un aide à la conduite de ce travail : un grand merci du fond de mon cœur.

A TOUS, JE LEUR DEDIE CE MODESTE TRAVAIL

K.Hamma

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

Mes parents :

Mon grand père Ahmed et Ma grande mère.

Mon père Mohamed, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Mon mère

Mes frères et sœurs qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

Toute la famille Mahdjoubi

Tous mes amis et collègues :

Tous les étudiants de la promotion 2012/2013

Mes professeurs de l'GBM qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

S.Mahdjoubi

Table des matières

Introduction générale.....	1
I.1 Introduction :	2
I.2 Système de mesure :	2
I.2.1 Définition générale :	2
I.2.2 La chaîne de mesure électronique :[2]	3
I.2.2.a La chaîne de mesure analogique [1] :	3
I.2.2 .b La chaîne de mesure numérique [1] :	3
I.2.3 Types de grandeur physique :[1]	3
I.2.4 Classification des signaux [3]:	4
I.2.4.a Signal analogique :	4
I.2.4.b Signal numérique :	4
I.3 Classification des capteurs :[1]	5
I.3.1 Capteurs actifs [4]:	5
I.3.1.a Effet piézoélectrique :	5
I.3.1.b Effet Photo-électrique :	5
I.3.1.c Effet Pyroélectrique :	5
I.3.1.d Effet thermoélectrique:	6
I.3.1.e Effet Hall :	6
I.3.1.f Effet d'induction électromagnétique :.....	7
I.3.2 Capteurs passifs [5]:	7
I.3.2.a Capteurs à résistance:	7
I.3.2.b Capteurs capacitifs :	8
I.3.2.c Capteurs inductifs :	9
I.4 Caractéristiques métrologiques d'un capteur [1]:	9
I.4.1. Les domaines de fonctionnement :	9
I.4.1.a Domaine nominal d'utilisation :	10
I.4.1.b Domaine de non-détérioration :	10
I.4.1.c Domaine de non-destruction :.....	10
I.4.2 L'étendue de mesure :	10
I.4.3 Caractéristique d'entrée-sortie d'un capteur :	10
I.4.4 Sensibilité :	10
I.4.5 Finesse :	11
I.4.6 Linéarité.....	11
I.4.7 Caractéristiques statistiques d'un capteur [6]:	11
I.4.7.a Fidélité :	12
I.4.7.b Justesse :	12
I.4.7.c Précision :	12
I.4.8 Rapidité :	12
I.4.9 L'hystérésis :	13
I.4.10 La résolution:	13
I.4.11 Grandeurs d'influence :	13
I.4.11.a Grandeurs d'ambiance (environnement) :	13
I.4.11.b Grandeurs d'influence d'alimentation :	14
I.4.12 la répétabilité et la reproductibilité :	14
I.5 Les erreurs de mesure dans les capteurs [7]:	14

I.5.1 L'erreur sur le zéro (l'offset) :	14
I.5.2 L'erreur liée à l'étalonnage :	15
I.5.3 Les erreurs dues aux grandeurs d'influence :	15
I.5.4 Les erreurs dues aux conditions d'alimentation et de traitement de signal :	15
I.5.5 Les erreurs dues au mode d'utilisation :	15
II. DETECTEURS DE CHAMP MAGNETIQUE	16
II.1 Introduction :	16
II.2 Historique du magnétisme et présentation des unités :	16
II.3. Les capteurs magnétiques :	17
II.3.1 Les capteurs à effet Hall :	18
II.3.1.a Historique :	18
II.3.1.b Effet de la force de Lorenz et génération du champ de Hall :	18
II.3.1.c Tension de Hall :	19
II.3.1.d Construction de capteur à effet Hall:	20
II.3.1.e Imperfections liées aux capteurs à effet Hall :	20
II.3.1.f Applications des capteurs à effet Hall :	21
II.3.2 Les bobines [11] :	22
II.3.3 Capteurs magnéto-résistifs [12]:	22
II.3.3.1 Magnétorésistance anisotrope AMR :	22
II.3.3.1.a Définition d'axe d'anisotropie [12]:	23
II.3.3.1.b Principe de fonctionnement:	23
II.3.3.2 Magnétorésistance géante (GMR) :	25
II.3.3.2.a Principe de fonctionnement :	25
II.3.3.3 Applications des capteurs magnéto-résistifs :	26
II.3.4 Les fluxgates :	27
II.3.4.a Historique [13] :	27
II.3.4.b. Principe de fonctionnement :	28
II.3.4.c Limitations liées aux capteurs fluxgate :	28
II.3.5 Les SQUIDS :	29
II.3.5.a Historique [14] :	29
II.3.5.b principe de mesure:	29
II.4 Conclusion :	30
III. ETUDE PRATIQUE DU DETECTEUR DE CHAMP MAGNETIQUE	3
III.1 Introduction :	31
III.2.1 Capteur à effet Hall UGN3503U :	31
III.2.2 Bobine :	33
III.2.2.a Bobine de 100 spires : (voir la figure 3.4)	33
III.2.2.b Bobine 364PE: (voir la figure 3.8)	35
III.2.2.c Bobine de 2000 spires : (voir la figure 3.8)	36
III.2.3 L'antenne :	37
III. 3 Mesures avec amplification :	39
III.3.1 Amplification du signal de capteur à effet Hall UGN3503U :	40
III.3.2 Amplification du signal de la bobine 100 spires :	41

III.3.3 Amplification du signal de l'antenne :	42
III.3.4 Discussion des résultats :	42
III.4 Les méthodes de linéarisation :	43
III.4.1 Comparaison des résultats des trois méthodes :	46
III.5 Application de la méthode de moindre carré :	46
III.6 Conclusion :	48
IV. REALISATION DU DETECTEUR DE CHAMP MAGNETIQUE	49
IV. 1 Source de tension :	49
IV.1.1 Etage de régulation :	49
IV.1.2 Etage inverseur :	50
IV.2 Capteur utilisé :	51
IV.3 Mise en forme du signal de sortie du capteur à effet Hall UGN3503U:	51
IV.3.1 La fonction diviseur :	51
IV.3.2 Fonction suiveur :	52
IV.3.3 La fonction soustracteur :	53
IV.3.4 La fonction linéarisation :.....	54
IV.3.5 La fonction amplificateur :	55
IV. 4 L'affichage :	56
IV.4.1 Affichage à LEDs :	56
IV.4.2 Alarme audio :	57
IV.4.2.a Convertisseur tension fréquence :	57
IV.4.2.b Amplificateur audio :	58
IV.5 Conclusion :	64
CONCLUSION :.....	65

Table des Figures

PARTIE 1 : ETUDE THEORIQUE

CHAPITRE I :

Figure 1.1 définition d'un capteur.....	2
Figure 1.2 schéma synoptique d'une chaine de mesure.....	3
Figure 1.3 : Nature de l'information du capteur.....	4
Figure 1.4 Effet piézo-électrique.....	5
Figure 1.5 Effet photo-électrique.....	5
Figure 1.6 Effet Pyroélectrique.....	6
Figure 1.7 Effet thermoélectrique.....	6
Figure 1.8 Effet Hall.....	6
Figure 1.9 Effet d'induction électromagnétique.....	7
Figure 1.10 Capteurs à résistance (variation du liquide).....	7
Figure 1.11 Capteurs à résistance (variation de pression).....	8
Figure 1.12 : Capteur capacitif.....	8
Figure 1.13 : Capteur inductif.....	9
Figure 1.14 Les trois domaines de fonctionnement d'un capteur.....	9
Figure 1.15 Exemple de caractéristique d'un capteur d'humidité du type capacitif.....	10
Figure 1.16 : Exemple de linéarisation de caractéristiques.....	11
Figure 1.17 : Caractéristiques statique d'un capteur	12
Figure 1.18 : courbe d'Erreur d'hystérésis.....	13
Figure 1.19 Erreur de zéro.....	14
Figure 1.20 Erreur d'étalonnage.....	15

CHAPITRE II :

Figure 2.1 : le marché d'utilisation des capteurs magnétiques en 2007, un volume d'affaire total de 940 M\$.....	18
Figure 2.2 : plaque à effet Hall infiniment longue	18

Figure 2.3 : surface de capture de l'induction magnétique induite.....	21
Figure 2.4 : définition de l'axe d'anisotropie.....	23
Figure 2.5 : variation de la résistance en fonction \vec{B}	24
Figure 2.6: Structure de bandes simplifiée du nickel. Les bandes 3d + et 3d-sont identiques mais leurs niveaux d'énergie sont légèrement décalés.....	24
Figure 2.7 : Diminution de la résistance à l'application d'un champ \vec{B}	25
Figure 2.8 : Phénomènes de diffusion dans les magnétorésistances géantes.....	26
Figure 2.9 : Structure de base d'un capteur de type fluxgate	27
Figure 2.10: la réponse d'une bobine lors de l'application d'un champ magnétique.....	28
Figure 2.11 : schéma de principe de mesure.....	29

PARTIE 2 : ETUDE PRATIQUE

CHAPITRE III :

Figure 3.1 : brochage du capteur à effet Hall UGN3503U.....	31
Figure 3.2 : circuit de conditionnement du capteur à effet Hall UGN3503U	32
Figure 3.3 : Représentation de distance en fonction de la tension pour UGN3503U.....	32
Figure 3.4 : bobine de 100 spires.....	33
Figure 3.5 : circuit d'un capteur de champs magnétique par une bobine.....	33
Figure 3.6: Représentation de distance en fonction de la tension pour bobine 100 spires.....	34
Figure 3.7: Représentation de distance en fonction de la tension pour bobine 100 spires appliquée par un transformateur.....	35
Figure 3.8 Bobine 364PE.....	35
Figure 3.9 Bobine 2000 spires.....	36
Figure 3.10: Représentation de distance en fonction de la tension pour bobine 2000 spires.....	37
Figure 3.11 l'antenne utilisée.....	37

Figure 3.12 circuit de l'antenne.....	37
Figure 3.13: Représentation de distance en fonction de la tension pour l'antenne.....	38
Figure 3.14: Représentation de distance en fonction de la tension pour l'antenne appliquée à un transformateur.....	39
Figure 3.15 circuit d'amplification et d'adaptation.....	39
Figure 3.16 Schéma synoptique du circuit d'amplification du capteur UGN3503U.....	40
Figure 3.17 : Représentation de distance en fonction de la tension pour UGN3503U après amplification.....	41
Figure 3.18 Schéma synoptique du circuit d'amplification de la Bobine.....	41
Figure 3.19 Représentation de distance en fonction de la tension pour la bobine 100 spires après amplification.....	42
Figure 3.20 Schéma synoptique du circuit d'amplification de l'antenne.....	42
Figure 3.21 Représentation des résultats de modèle Thévenin pour l'UGN3503U et la Bobine (100) spires.....	44
Figure 3.22 Représentation des résultats de modèle Norton pour l'UGN3503U et la Bobine (100) spires.....	45
Figure 3.23 Circuit logarithmique.....	45
Figure 3.24 Représentation des résultats issus après l'application d'un circuit logarithmique.....	46
Figure 3.25 : l'organigramme du programme MATLAB.....	47
Figure 3.25 Représentation des résultats issus après l'application de la méthode des moindres carrés.....	48
 Chapitre IV :	
Figure 4.1 brochage du régulateur 78L05.....	50
Figure 4.2 brochage du circuit LTC1046.....	50
Figure 4.3 brochage de capteur à effet Hall UGN3503U.....	51

Figure 4.4 diviseur de tension et suiveur	52
Figure 4.5 circuit d'adaptation	53
Figure 4.6 circuit de soustraction.....	53
Figure 4.7 le brochage du TL084.....	54
Figure 4.8 circuit logarithmique	55
Figure 4.9 circuit d'amplification.....	55
Figure 4.10 Afficheur à LEDs.....	56
Figure 4.11 haut parleur utilisé dans le circuit.....	57
Figure 4.12 convertisseur tension fréquence.....	58
Figure 4.13 : L'amplificateur de puissance.....	59
Figure (4.14) : détection de 0 cm.	60
Figure (4.15) : détection de 1 cm.....	60
Figure (4.16) : détection de 3 cm.....	61
Figure (4.17) : détection de 5 cm.....	61
Figure (4.18) : détection de 7 cm.....	61
Figure (4.19) : détection de 12 cm.....	62
Figure 4.20 variation de la tension en fonction de la distance.....	63
Figure 4.21 le circuit imprimé réalisé.....	63

Liste des tableaux

PARTIE 1 : ETUDE THEORIQUE

CHAPITRE II :

Tableau 2.1 : mobilité des matériaux utilisables pour fabriquer un générateur de Hall.....20

Tableau 2.2 : Applications des capteurs magnétiques selon leur gamme de mesure.....30

PARTIE 2 : ETUDE PRATIQUE

CHAPITRE III :

Tableau 3.1 : représente la variation de la tension en fonction de la distance pour le capteur à effet Hall de type UGN3503U.....32

Tableau 3.2 représente la variation de la tension en fonction de la distance pour la bobine de 100 spires.....34

Tableau 3.3 représente la variation de la tension en fonction de la distance pour la bobine de 100 spires (source transformateur).....34

Tableau 3.4 représente la variation de la tension en fonction de la distance pour la bobine de 2000 spires.....36

Tableau 3.5 représente la variation de la tension en fonction de la distance pour l'antenne.38

Tableau 3.6 : Représentation de distance en fonction de la tension pour l'antenne (source transformateur).....38

Tableau 3.7 : Représentation de distance en fonction de la tension après amplification du capteur UGN3503U.....40

Tableau 3.8 : Représentation de distance en fonction de la tension après amplification pour la bobine de 100 spires.....41

CHAPITRE IV :

Tableau 4.1 : représente la variation de la tension en fonction de la distance.....62

INTRODUCTION GENERALE

Dans la physique nucléaire et celle des particules, les accélérateurs se sont succédés à des échelles et des énergies toujours croissantes. Dans toutes ces installations, les champs magnétiques jouent un rôle majeur.

Ils servent à confiner ou à courber les faisceaux de particules accélérés. La course aux hautes énergies a mécaniquement entraîné la course aux champs magnétiques intenses et a conduit à développer la technologie des aimants supraconducteurs et la cryogénie nécessaire à leur fonctionnement. Autour de ces instruments s'est imposée la détection du champ magnétique, soit pour caractériser les aimants avant leur mise en service, soit pour régler et surveiller le champ créé.

Différentes techniques de détection sont développées afin de répondre aux besoins spécifiques des instruments : détection par bobines de flux, par sondes à effet Hall, par magnétorésistances ou bien par antennes.

Un détecteur de champ magnétique est un transducteur convertissant une information sur le champ magnétique ambiant en un signal électrique exploitable. Une des premières applications connues des capteurs de champ magnétique fut la détection des mines sous marines durant la seconde guerre mondiale.

L'objectif de ce mémoire est de : concevoir et réaliser un appareil de détection de champ magnétique qui doit répondre à des besoins spécifiques.

Deux parties composent ce mémoire et à travers lesquels nous décrivons le travail effectué pour la réalisation de notre travail.

La première partie est à l'étude des différents détecteurs de champ magnétique existants ainsi que les caractéristiques de chaque type de capteurs.

Dans la deuxième partie, nous sommes intéressés à étudier la linéarité de plusieurs capteurs de champ magnétique afin de sélectionner le plus approprié pour la suite de notre chaîne de mesure. Les principes de chaque étage de la chaîne de mesure constituant notre dispositif seront définis et décrits.

PARTIE 1

ETUDE THEORIQUE

PARTIE 2
ETUDE PRATIQUE

I.1 Introduction :

Dans un grand nombre de domaines, il est nécessaire d'avoir accès à une grandeur physique. Cette connaissance permet de connaître l'état physique d'un système et de pouvoir prendre des décisions.

Ces décisions peuvent être automatiques c'est à dire prise par un ordinateur ou prise par un opérateur humain via une interface homme machine.

Dans les deux cas, l'état physique du système doit être connu sous la forme d'une grandeur électrique : tension ou courant car les systèmes de traitement n'utilisent que ces grandeurs.

L'opération qui permet de transformer une grandeur physique en une grandeur électrique est réalisée par un capteur.

Nous présentons dans ce premier chapitre les résultats d'un travail bibliographique qui nous a éclairés sur les principes généraux des capteurs et de leurs chaînes d'acquisition. Quelques exemples de capteurs sont donnés, dont les caractéristiques générales sont présentées.

I.2 Système de mesure :

I.2.1 Définition générale :

Un système de mesure comprend un ensemble d'éléments importants (figure 1.1).

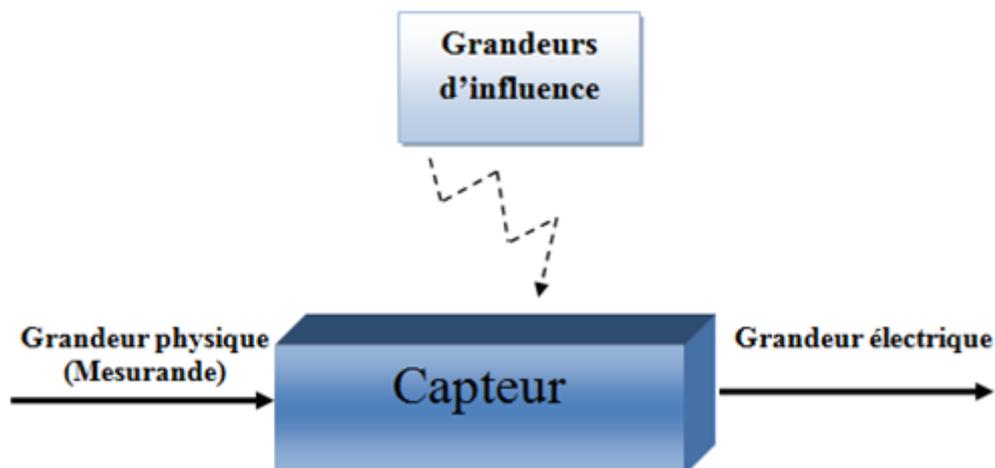


Figure 1.1 système de mesure

- **Grandeur mesurée** : appelée mesurande c'est une valeur analogique qui est généralement pas exploitable directement, elle peut être une température ou toute autre grandeurs physique.
- **Capteur** : c'est l'élément de mesure qui permet sous l'effet du mesurande de générer un signal électrique.

- **Signal électrique** : c'est la réponse du capteur, il est directement exploitable pour les indicateurs analogiques ou numériques.

I.2.2 La chaîne de mesure électronique :[2]

Quelque soit le domaine d'emploi, un capteur n'est pas utilisé seul, il intervient dans une chaîne dite chaîne de mesure (figure 1.2).

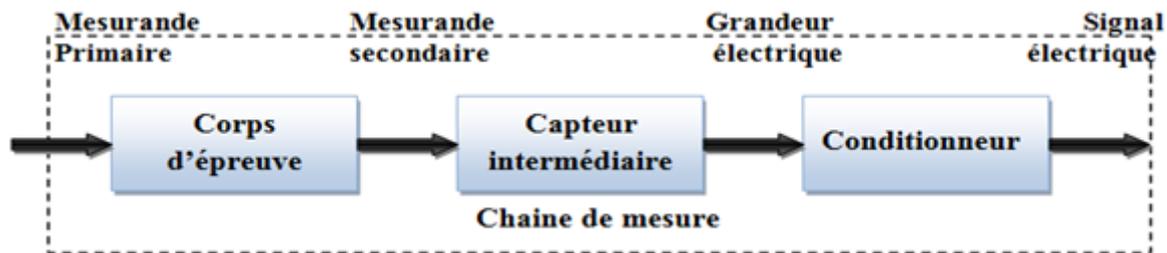


Figure 1.2 schéma synoptique d'une chaîne de mesure

De manière classique la sortie d'une chaîne de mesure est du type électrique.

Si la chaîne de mesure fait intervenir plusieurs transducteurs, on appelle corps d'épreuve celui en contact direct avec le mesurande.

Par définition, un corps d'épreuve est un transducteur (partie d'un capteur) qui permet la transduction d'une grandeur physique non exploitable en grandeur physique exploitable.

Le dernier transducteur est associé à un conditionneur qui fournit la grandeur électrique de sortie de manière exploitable. Le choix de ce conditionneur est une étape importante car il détermine la nature finale du signal électrique et va influencer les performances de la mesure.

I.2.2.a La chaîne de mesure analogique [1] :

C'est l'ensemble de circuits assurant les tâches d'amplification, de linéarisation, de filtrage, de compensation thermique ou de traitement de bruit. Ce type de chaîne utilise la grandeur analogique dans son fonctionnement.

I.2.2 .b La chaîne de mesure numérique [1] :

C'est l'ensemble de circuits assurant les tâches de conversion analogique numérique, d'échantillonnage, de filtrage numériques...etc. Ce type de chaîne utilise la grandeur numérique dans son fonctionnement.

I.2.3 Types de grandeur physique :[1]

On peut classer les grandeurs physiques en 6 familles, chaque capteur s'associant à l'une de ces 6 familles :

- ✓ Mécanique : déplacement, force, masse, débit etc...

- ✓ Thermique : température, capacité thermique, flux thermique etc...
- ✓ Electrique : courant, tension, charge, impédance, diélectrique etc...
- ✓ Magnétique : champ magnétique, perméabilité, moment magnétique etc...
- ✓ Radiatif : lumière visible, rayons X, micro-ondes etc..

I.2.4 Classification des signaux [3]:

On peut classer les grandeurs de sorties en fonction de sa caractéristique électrique (voir la figure 1.3) en :

I.2.4.a Signal analogique :

Un signal est dit analogique si l'amplitude de la grandeur physique le représentant peut prendre une infinité de valeurs dans un intervalle donné.

- **Signal continu** : C'est un signal qui varie 'lentement' dans le temps : température, débit, niveau.
- **Forme** : C'est la forme de ce signal qui est importante : pression cardiaque, chromatographie.
- **Fréquentiel** : C'est le spectre fréquentiel qui transporte l'information désirée : analyse vocale, spectrographie.

I.2.4.b Signal numérique :

Un signal est dit numérique si l'amplitude de la grandeur physique le représentant ne peut prendre qu'un nombre fini de valeurs. En général ce nombre fini de valeurs est une puissance de 2.

- **Tout ou rien (TOR)** : Il informe sur l'état bivalent d'un système: une vanne ouverte ou fermée.
- **Train d'impulsion** : Chaque impulsion est l'image d'un changement d'état: un codeur incrémental donne un nombre fini et connu d'impulsion par tour.
- **Echantillonnage** : C'est l'image numérique d'un signal analogique: température, débit, niveau, son (pression)...

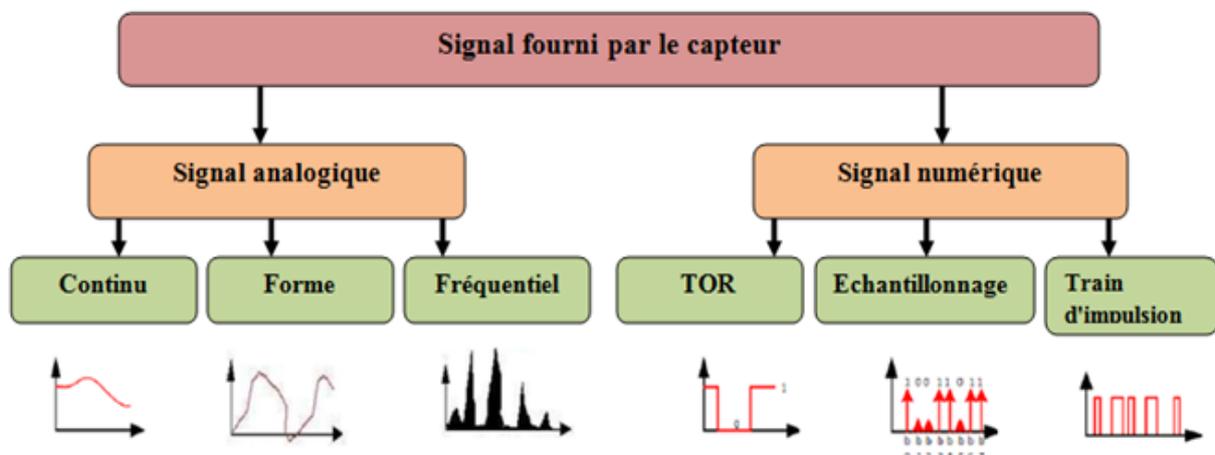


Figure 1.3 : Nature de l'information du capteur

I.3 Classification des capteurs :[1]

On peut classer les capteurs sur la base de consommation ou pas de l'énergie. Dans ce cas on pourrait les classer en deux catégories : capteurs actifs ou passifs.

I.3.1 Capteurs actifs [4]:

Les capteurs actifs sont des capteurs qui fonctionnent en générateur. Le corps d'épreuve ou l'élément de transduction utilise un principe physique qui assure la conversion en énergie électrique l'énergie propre au mesurande.

A titre d'exemple, on cite certains effets qui sont à l'origine de la conception de plusieurs capteurs actifs.

I.3.1.a Effet piézoélectrique :

Sous l'application d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézo-électrique (quartz) entraîne l'apparition d'une déformation et d'une même charge électrique de signe différent sur les faces opposées, ce phénomène est réversible (voir la figure1.4).

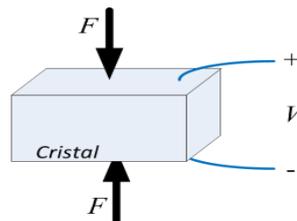


Figure 1.4 Effet piézo-électrique

I.3.1.b Effet Photo-électrique :

Sous l'influence d'un rayonnement lumineux ou plus généralement d'une onde électromagnétique, la matière libère des charges électriques (figure1.5).

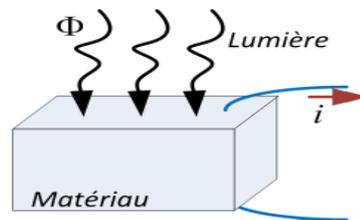


Figure 1.5 Effet photo-électrique

I.3.1.c Effet Pyroélectrique :

Sous l'application d'un flux de rayonnement, le cristal pyroélectrique va s'échauffer

et ainsi sa polarisation va se modifier entraînant une variation de tension détectable(voir la figure 1.6).

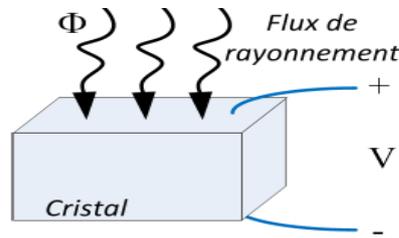


Figure 1.6 Effet Pyroélectrique

I.3.1.d Effet thermoélectrique:

C'est le principe de tout thermocouple. C'est un circuit constitué de deux conducteurs de nature chimique différente et dont les jonctions sont à des températures différentes T1 et T2(voir la figure 1.7).Il apparaît aux bornes de ce circuit une tension (force électromotrice) liée à la différence de température (T1-T2).

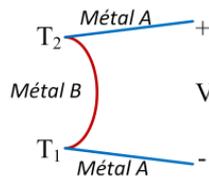


Figure 1.7 Effet thermoélectrique

I.3.1.e Effet Hall :

C'est un phénomène se produisant lorsqu'un conducteur ou un semi-conducteur traversé par un courant d'intensité i est soumis à un champ magnétique. Dans cette situation, une différence de potentiel électrique V apparaît entre les deux faces perpendiculaires à la direction du courant et du champ magnétique (Figure 1.8). La tension V est d'ailleurs proportionnelle au produit vectoriel du courant et du champ magnétique :

$$V = K_{mat} \left| \vec{i} \times \vec{B} \right| = K_{mat} iB \sin(\theta) \tag{1.1}$$

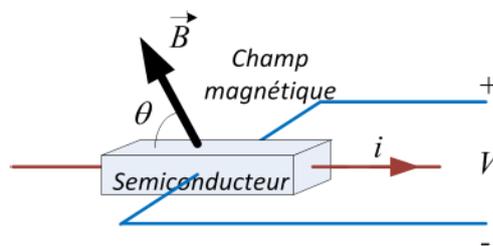


Figure 1.8 Effet Hall

I.3.1.f Effet d'induction électromagnétique :

Lorsqu'un conducteur se déplace dans un champ magnétique, une différence de potentiel apparaît entre ses extrémités, on dit alors qu'une tension est induite dans le conducteur (figure 1.9). C'est la transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique.

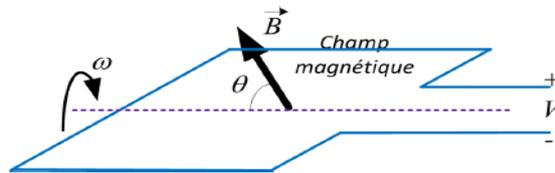


Figure 1.9 Effet d'induction électromagnétique

I.3.2 Capteurs passifs [5]:

Le capteur passif, consiste à obtenir à partir d'une variation de la grandeur d'entrée une variation paramétrique d'une résistance, d'une inductance ou d'une capacité. Ces variations ne peuvent pas être mesurées sans la présence d'une source extérieure qu'on appelle souvent le conditionneur.

I.3.2.a Capteurs à résistance:

Les capteurs à résistance transforment la grandeur d'entrée, tel que le déplacement mécanique, les forces, les efforts, la pression...etc, en une variation de la résistance. Les figures 1.10 et 1.11 représentent une forme schématique des exemples sur les capteurs à résistance.

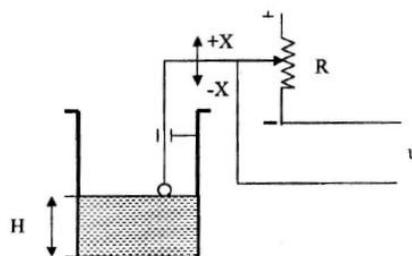


Figure 1.10 Capteurs à résistance (variation du liquide)

La variation du niveau du liquide (H), entraîne le déplacement du curseur du potentiomètre R (variation de la résistance).

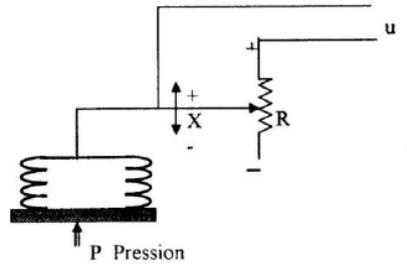


Figure 1.11 Capteurs à résistance (variation de pression)

La figure (1-11) représente la variation de la pression P qui entraîne la déformation du soufflet. Cette dernière met en déplacement le curseur du potentiomètre R (variation de la résistance).

I.3.2.b Capteurs capacitifs :

Dans un capteur capacitif, la variation de la grandeur d'entrée entraîne une variation proportionnelle de la capacité du condensateur.

La capacité d'un condensateur plan est donnée par la relation suivante :

$$C = \frac{\epsilon \cdot S}{d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_2}{d} \tag{1.2}$$

- Avec : ϵ_0 : Permittivité absolue.
- ϵ_2 : Permittivité du milieu.
- S : Surface des plaques (section).
- d : La distance entre les armatures.

La variation de distance entre les armatures : le condensateur est destiné à la traduction de déplacements rectilignes ; il est inséré dans un montage en pont.

Pour $dl=0$, le pont est équilibré : $V_s=0$. Pour un déplacement dl de l'armature mobile, la tension de sortie V_s est proportionnelle à dl .(Figure 1.12)

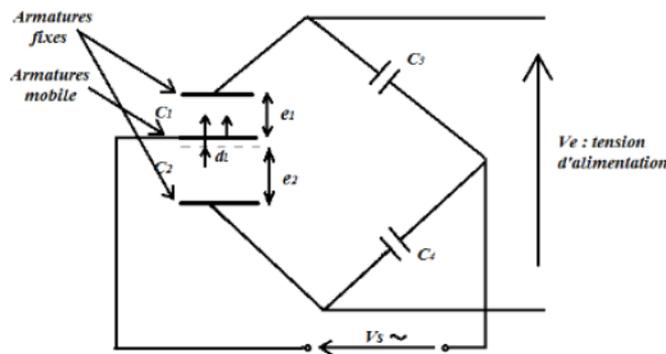


Figure 1.12 : Capteur capacitif

I.3.2.c Capteurs inductifs :

D'une manière analogue, le capteur inductif transforme la grandeur d'entrée en une variation de la résistance inductive figure (1.13).

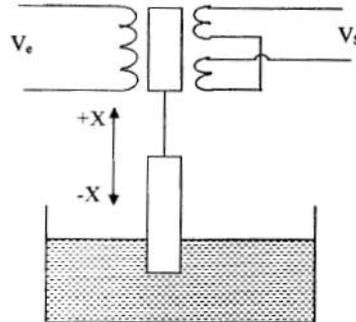


Figure 1.13 : Capteur inductif

I.4 Caractéristiques métrologiques d'un capteur [1]:

De manière à classer les capteurs en fonction de leurs performances, on est amené ainsi à définir des paramètres qui permettent de les sélectionner en fonction de l'application utilisée.

I.4.1. Les domaines de fonctionnement :

Chaque capteur (ou élément de mesure) présente certaines caractéristiques métrologiques qui définissent ses limites d'utilisation et de précision. Ces limites dépendent non seulement du mesurande, mais aussi des grandeurs d'influence qui viennent perturber l'élément de mesure. On peut définir trois domaines de fonctionnement (Figure 1.14).

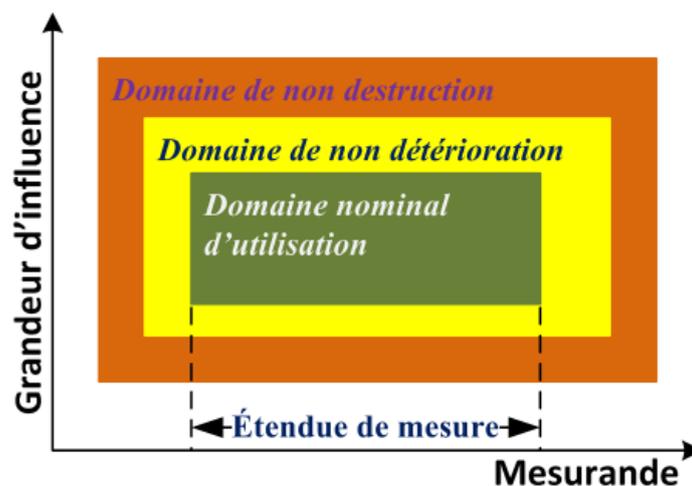


Figure 1.14 Les trois domaines de fonctionnement d'un capteur

I.4.1.a Domaine nominal d'utilisation :

Représente la zone de travail normale du capteur dans laquelle le mesurande peut évoluer sans modification des Caractéristiques du capteur.

I.4.1.b Domaine de non-détérioration :

Valeurs limites des grandeurs influençant le capteur (mesurande, température environnante, etc...) sans que les caractéristiques du capteur ne soient modifiées après l'annulation de surcharges éventuelles.

I.4.1.c Domaine de non-destruction :

Il définit les limites garantissant la non-destruction du capteur mais dans lequel il peut y avoir des modifications permanentes des caractéristiques du capteur.

I.4.2 L'étendue de mesure :

Il correspond à l'intervalle entre la valeur minimale et la valeur maximale du mesurande. Ces deux valeurs sont respectivement appelées portée minimale et portée maximale.

I.4.3 Caractéristique d'entrée-sortie d'un capteur :

Elle donne la relation d'évolution de la grandeur de sortie en fonction de la grandeur d'entrée. Elle est donnée classiquement par une courbe en régime permanent. Elle ne donne pas d'informations sur les caractéristiques transitoires du capteur. Figure (1.15)

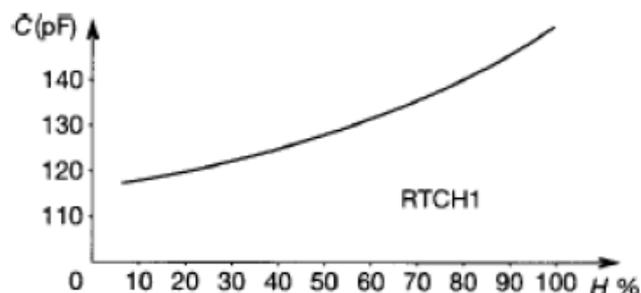


Figure 1.15 Exemple de caractéristique d'un capteur d'humidité du type capacitif

I.4.4 Sensibilité :

Elle détermine l'évolution de la grandeur de sortie en fonction de la grandeur d'entrée en un point donné. C'est la pente de la tangente à la courbe issue de la caractéristique du capteur.

Dans le cas d'un capteur linéaire, la sensibilité du capteur est constante.

$$\text{Sensibilité} = \frac{d(\text{Grandeur de sortie})}{d(\text{Mesurande})} \quad (1.3)$$

I.4.5 Finesse :

C'est la qualité d'un capteur à ne pas venir modifier par sa présence la grandeur à mesurer. Cela permet d'évaluer l'influence du capteur sur la mesure.

Finesse et sensibilité sont en général antagonistes. Il peut y avoir un compromis à faire. Pour un capteur d'induction B, un capteur à forte perméabilité sera très sensible, par contre sa présence aura tendance à perturber les lignes de champ et la mesure de l'induction ne sera pas celle sans capteur, d'où une mauvaise finesse. Mais cette erreur peut être évaluée en vue d'une correction post-mesure et ainsi faire abstraction de la présence du capteur.

I.4.6 Linéarité :

Zone dans laquelle la sensibilité du capteur est indépendante de la valeur du mesurande. Cette zone peut être définie à partir de la définition d'une droite obtenue comme approchant au mieux la caractéristique réelle du capteur, par exemple par la méthode des moindres carrés.

On définit à partir de cette droite l'écart de linéarité qui exprime en % l'écart maximal entre la courbe réelle et la droite approchant la courbe (figure 1.16).

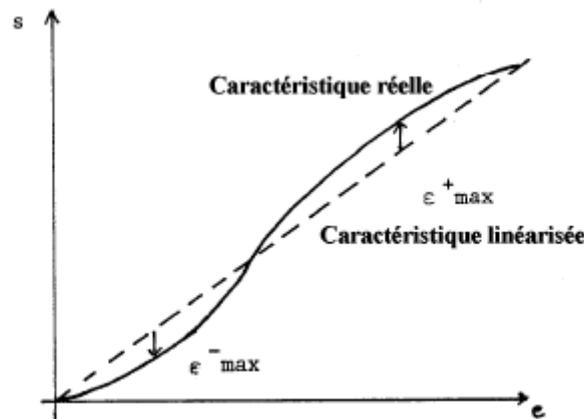


Figure 1.16 : Exemple de linéarisation de caractéristiques

I.4.7 Caractéristiques statistiques d'un capteur [6]:

Ces paramètres permettent de prendre en compte la notion d'erreurs accidentelles qui peuvent survenir sur un capteur.

Rappel : soit n mesures effectuées sur un mesurande, on définit à partir de ces n mesures :

- ✓ la valeur moyenne : $\langle m \rangle = \frac{\sum_i m_i}{n}$ (1.4)
- ✓ l'écart type (dispersion des résultats autour de la valeur moyenne) :

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (m_i - \langle m \rangle)^2}{n-1}} \quad (1.5)$$

I.4.7.a Fidélité :

Elle définit la qualité d'un capteur à délivrer une mesure répétitive sans erreurs. L'erreur de fidélité correspond à l'écart type obtenu sur une série de mesures correspondant à un mesurande constant (voir la figure 1.17).

I.4.7.b Justesse :

C'est l'aptitude d'un capteur à délivrer une réponse proche de la valeur vraie et ceci indépendamment de la notion de fidélité. Elle est liée à la valeur moyenne obtenue sur un grand nombre de mesures par rapport à la valeur réelle (figure 1.17).

I.4.7.c Précision :

Elle définit l'écart en % que l'on peut obtenir entre la valeur réelle et la valeur obtenue en sortie du capteur. Ainsi un capteur précis aura à la fois une bonne fidélité et une bonne justesse (figure 1.17).

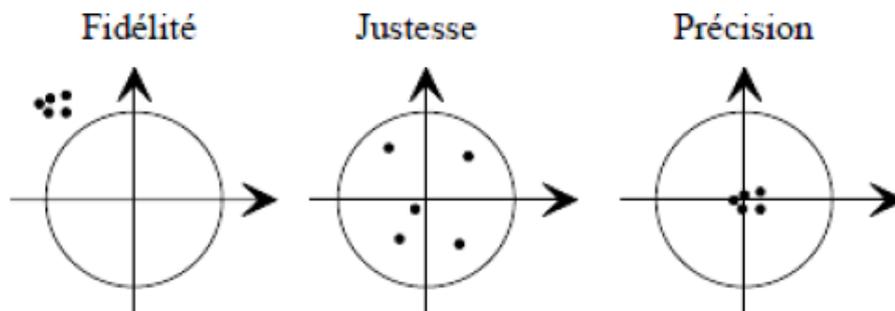


Figure 1.17 : Caractéristiques statique d'un capteur

I.4.8 Rapidité :

C'est la qualité d'un capteur à suivre les variations du mesurande. On peut la chiffrer de plusieurs manières :

- ✓ bande passante du capteur. (à -3 dB par exemple).
- ✓ Fréquence de résonance du capteur.
- ✓ Temps de réponse (à x%) à un échelon du mesurande.

I.4.9 L'hystérésis :

Lorsque les courbes de transfert du capteur pour une variation croissante et décroissante de la grandeur physique ne sont pas identiques, on parle d'une erreur due à l'hystérésis du capteur (voir la figure 1.18).

Cette erreur est exprimée en pourcentage par rapport à l'étendue de mesure.

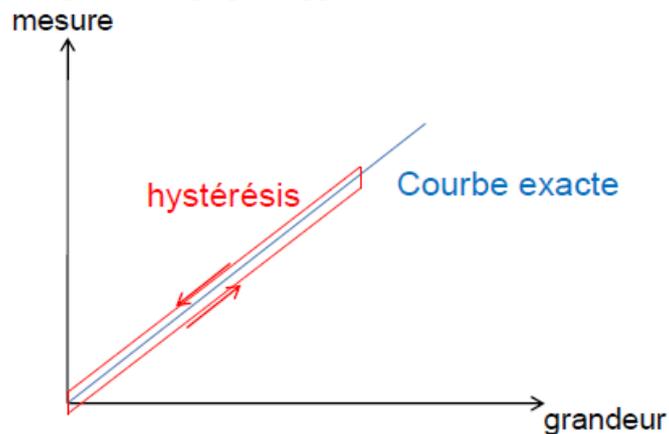


Figure 1.18 : courbe d'Erreur d'hystérésis

I.4.10 La résolution:

La résolution correspond à la granularité de la mesure (la plus petite variation discernable par le capteur).

La résolution peut ne pas être constante sur toute l'étendue de la mesure. La résolution s'applique aussi aux convertisseurs analogiques/numériques (A/N).

I.4.11 Grandeurs d'influence :

En réalité, beaucoup d'éléments autres que le mesurande peuvent modifier la grandeur « se sont les grandeurs d'influence ».

Les grandeurs d'influence sont variables d'un capteur à l'autre car elles dépendent du processus physique mis en œuvre. On retrouve les grandeurs de type mécanique ou thermique mais aussi des grandeurs électriques.

On les classe en deux types :

I.4.11.a Grandeurs d'ambiance (environnement) :

Se sont des grandeurs physiques indépendantes du mesurande :

- ✓ Température, elle provoque deux phénomènes : dilatation des corps et modification des propriétés électrique.
- ✓ Hygrométrie, les variations de pression et de force provoquent des déformations.
- ✓ Champ magnétique peut induire des perturbations et parasites.

I.4.11.b Grandeurs d'influence d'alimentation :

Elles incluent tous les paramètres électriques (courant, tension, fréquence) des circuits d'alimentation du capteur.

I.4.12 la répétabilité et la reproductibilité :

La répétabilité est la marge de fluctuation de la sortie à court terme, lorsque le même mesurande est appliqué à plusieurs reprises et dans le même sens. Cette marge est attribuable à plusieurs causes (entre autre l'opérateur).

La reproductibilité est la marge de fluctuation de la sortie à long terme, lorsque le même mesurande est appliqué à plusieurs reprises et dans le même sens. Cette marge est attribuable à plusieurs causes (dont le vieillissement).

I.5 Les erreurs de mesure dans les capteurs [7]:

Les erreurs de mesure ont des causes systématiques que l'opérateur peut corriger ou non. Ces erreurs ont des causes clairement identifiées et prévisibles.

I.5.1 L'erreur sur le zéro (l'offset) :

Appelée aussi «dérive » est généralement due au vieillissement des composantes d'un capteur et aux variations de température. Elle se traduit par un décalage de la grandeur de sortie indépendante du mesurande (voir la figure 1.19).

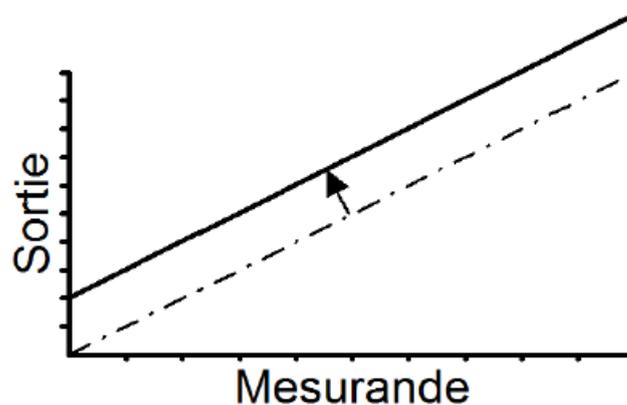


Figure 1.19 Erreur de zéro

I.5.2 L'erreur liée à l'étalonnage :

L'erreur liée à l'étalonnage du capteur est due à la qualité de l'opération d'étalonnage (voir la figure 1.20). Si cette opération n'est pas effectuée correctement, cela se traduit par une erreur dans la pente de la caractéristique du capteur.

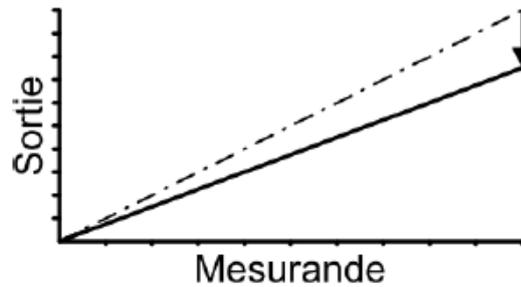


Figure 1.20 Erreur d'étalonnage

Même dans le cas où l'étalon est précis, il est bon de faire plusieurs mesures lors de la calibration du capteur, car l'erreur de répétabilité est présente, même avec l'étalon.

I.5.3 Les erreurs dues aux grandeurs d'influence :

Les grandeurs d'influence provoquent sur le capteur des variations de ses caractéristiques métrologiques.

Toutes les grandeurs physiques connues peuvent agir comme grandeur d'influence. Pour minimiser l'effet de ces grandeurs d'influence, il faut utiliser, soit la compensation, soit la stabilisation.

I.5.4 Les erreurs dues aux conditions d'alimentation et de traitement de signal :

La grandeur de sortie peut être fortement dépendante des conditions d'alimentation du capteur. L'alimentation du capteur est dans certains cas une grandeur modifiante qui peut affecter la précision d'une mesure.

I.5.5 Les erreurs dues au mode d'utilisation :

Certaines erreurs sont simplement dues à une utilisation incorrecte d'un capteur.

Par exemple, si on utilise un capteur pas assez rapide dans un cas où le mesurande évolue de façon rapide.

Il est très important de suivre les directives du fabricant pour le montage et l'installation d'un capteur pour s'assurer que ce dernier mesure correctement.

II. DETECTEURS DE CHAMP MAGNETIQUE

II.1 Introduction :

Vu que la détection de champ magnétique est un élément essentiel dans de nombreux systèmes industriels ou grand public, le nombre des technologies de détection existantes devient important. De ce fait, il existe une multitude de détecteurs différents ayant chacun un rôle très précis à remplir.

Afin de permettre le choix du capteur correspondant à notre réalisation, nous allons exposer les différents capteurs magnétiques, leurs caractéristiques, leurs avantages, leurs limitations ainsi que leur gamme d'utilisation.

II.2 Historique du magnétisme et présentation des unités :

A l'échelle humaine, l'illustration du magnétisme peut être vue comme la force qui fait tourner l'aiguille d'une boussole sous l'action du champ magnétique terrestre, ou les forces d'attraction et de répulsion qui apparaissent entre deux matériaux aimantés.

La première trace écrite sur le magnétisme date de l'écrivain chinois Guanzhong, décédé en 645 avant J.C. qui parle de « pierres d'aimant ».

Le nom magnétisme provient de la ville d'Asie Mineure « Magnesia ad Sipylum » d'où étaient extraits les premiers aimants dans l'Antiquité gréco-latine. A cette époque la pierre d'aimant est décrite comme « la pierre qui attire le fer ».

Le champ électromagnétique est pour l'homme, de part sa nature « invisible » un phénomène difficile à appréhender. Historiquement, c'est d'abord le champ électrique qui fut mis en évidence et décrit par Coulomb (1736-1806) à l'aide de deux particules chargées au repos.

Il faudra attendre quelques décennies pour que les premiers résultats sur le magnétisme voient le jour grâce aux expériences de Laplace (1749-1827) et Ampère (1775-1836).

En 1820 Ampère et Oersted font le lien entre le courant électrique et le champ magnétique. Ampère suggéra que le magnétisme de la matière pourrait bien être créé par des petites boucles de courant électrique à l'échelle moléculaire. Michaël Faraday (1791-1867) découvrit le principe de l'induction magnétique et construisit la première dynamo qui fonctionne avec ce principe physique. James Clerk Maxwell (1831-1879) établit les lois fondamentales du magnétisme avec les 4 équations dites de Maxwell. Pierre Curie (1859-1906) inventa les notions de paramagnétisme, diamagnétisme et ferromagnétisme.

Ces travaux permirent Paul Langevin (1872-1949) de décrire les notions de magnétisme induit et rémanent. Enfin, Louis Néel ((1904-2000) reçut le prix Nobel en 1970 pour ses découvertes sur l'antiferromagnétisme.

Présentation des unités :

Le champ magnétique est noté et s'exprime en Ampère par mètre (A/m) ou Oersted (Oe).

Le champ d'induction magnétique s'exprime en Tesla (T). On utilise parfois le Gausse (G) :

$$1\text{T}=10000\text{ G.}$$

Quelques valeurs de champs magnétiques :

- Biomagnétisme (cerveau, cœur) : $B \approx 10\text{fT} \dots 1\text{pT}$
- Champ magnétique galactique : $B \approx 0.25 \approx \text{nT}$
- Voisinage (environ 1m) de l'électroménager : $B \approx 600\text{nT}$
- Champ magnétique à la surface de la Terre : $B \approx 50\mu\text{T}$
- Générateur électrique et câbles (à 10m) : $B \approx 0.1\text{ mT} \dots 10\text{mT}$
- Aimants permanents (surface) : $B \approx 100\text{mT} \dots 1\text{T}$
- Aimants de laboratoire : $B \approx 2.5\text{ T}$
- Tomographie RMN : $B \approx 4\text{T}$
- Expérience de fusion nucléaire : $B \approx 10\text{T} \dots 20\text{T}$
- Astronomie Naine blanche : $B \approx 1\text{kT}$
- Astronomie-Pulsar : $B \approx 100\text{MT}$

Dans un milieu de perméabilité magnétique relative μ , le champ magnétique et le champ d'induction sont liés par la relation :

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \vec{H} \quad (2.1)$$

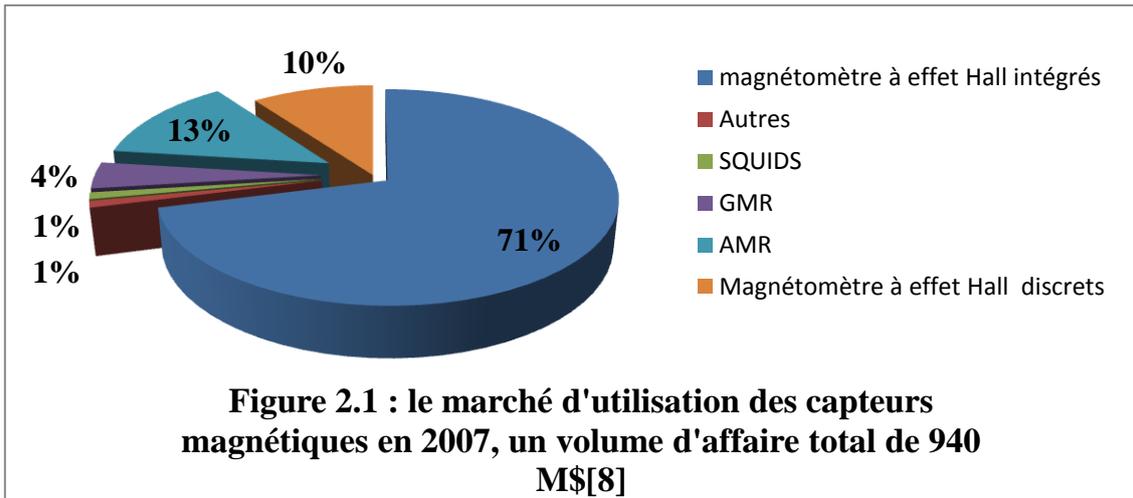
Avec :

μ_0 , la perméabilité magnétique du vide ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\text{H/m} = 1.257\text{ }\mu\text{H/m}$).

μ_r , la perméabilité magnétique du milieu, relative à celle du vide.

II.3. Les capteurs magnétiques :

Les capteurs magnétiques sont utilisés dans une grande variété d'applications, de la mesure de distances ou de vitesses, à la détection de pièces métalliques, en passant par la mesure de courant.



II.3.1 Les capteurs à effet Hall :

II.3.1.a Historique :

L'effet Hall a été découvert en 1879 par le physicien Edwin Hall [9], il fait partie de l'ensemble des phénomènes galvanométriques qui s'observent dans le solide subissant l'action d'un champ électrique et d'une induction magnétique [10].

Dans cette partie nous allons faire un rappel théorique sur cet effet en étudiant de façon simplifiée des équations galvanométriques.

II.3.1.b Effet de la force de Lorenz et génération du champ de Hall :

Tout au long de cette étude, nous allons considérer un barreau semi-conducteur de type N, non dégénéré et de dopage uniforme. Ce barreau a la forme d'une plaque de longueur infinie illustrée en (figure2.2) et traversé par un courant J qui est généré par un champ électrique E_e appliqué à la plaque.

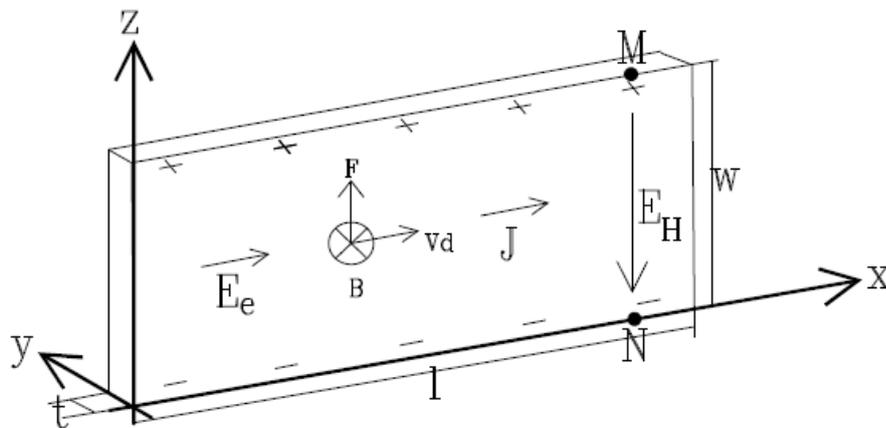


Figure 2.2 : plaque à effet Hall infiniment longue

Les forces de galvanométriques sont une manifestation de la force de Lorentz qui s'applique aux porteurs de charge (électrons), l'expression de cette force est donnée par :

$$F_L = -qE_e - q[v * B] \quad (2.2)$$

Où q est la charge élémentaire, E_e représente le champ électrique appliqué à la plaque, v la vitesse moyenne de l'électron.

F_L : présente une composante électrique ($-qE_e$) et une composante magnétique ($-q[v*B]$).

Lorsque les porteurs sont soumis à la seule force électrique, on a :

$$v = -\mu_n E_e \quad (2.3)$$

Avec μ_n : la mobilité des électrons, la densité de courant est alors donnée par :

$$J = -nqv = qn\mu_n E_e \quad (2.4)$$

Lorsque la plaque est plongée dans un champ magnétique B orienté perpendiculairement à J , la composante magnétique de la force de Lorentz provoque une accumulation d'électron sur la face supérieure de la plaque et de ce fait, un déficit d'électrons sur la face inférieure. Cette différence va générer un champ électrique qui compensa exactement la composante magnétique de la force de Lorentz et on aura :

$$-q[v * B] - qE_H = 0 \quad (2.5)$$

Par conséquent, la trajectoire des porteurs ne sera pas déviée et le courant restera orienté selon l'axe X. le champ E_H est appelé champ électrique de Hall

$$E_H = -[v * B] \quad (2.6)$$

D'après (3), E_H se réécrit :

$$E_H = \mu_n [E_n * B] \quad (2.7)$$

II.3.1.c Tension de Hall V_H :

Considérons M et N deux points situés sur les faces : supérieure et inférieure du barreau (fig 2). Ces deux points ont le même potentiel lorsque $B=0$. En présence d'un champ magnétique B , une tension s'établit entre ces deux points. C'est la tension de Hall qui est le résultat de l'intégrale du champ E_H pris entre les points M et N.

$$V_H = \int_N^M E_H dz = \mu_n E_e B w = \frac{1}{qn} J B w = \frac{1}{qnt} I \cdot B \quad (2.8)$$

Où w et t représentent la largeur et l'épaisseur de la plaque.

II.3.1.d Construction de capteur à effet Hall:

Le capteur à effet Hall est fabriqué à base d'un semi-conducteur en filme mince par LPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Desposition) [10]. Trois types de matériaux sont généralement utilisés : l'Antimoine d'Indium (InSb), l'Arséniure d'Indium (AsIn) et l'Arséniure de Galium (AsGa), ces matériaux sont employés pour trois raisons :

- Ils ont, à un dopage égal, des conductivités supérieures à celles du Germanium (Ge) ou du Silicium (Si).
- Leur conductivité permet de polariser le capteur avec des courants plus importants pour avoir une sensibilité plus élevée.
- Ils présentent une forte mobilité et une faible densité de porteurs ionisés (Tableau 1).

	InAs	InSb	AsGa
μ_n (cm ² /Vs)	33000	78000	8500
μ_p (cm ² /Vs)	460	750	400

Tableau 2.1 : mobilité des matériaux utilisables pour fabriquer un générateur de Hall [10]

II.3.1.e Imperfections liées aux capteurs à effet Hall :

Nous allons aborder dans cette partie les principaux défauts que présentent les capteurs à effet Hall :

i. Influence de la température :

Lorsqu'un courant de polarisation est appliqué au capteur à effet Hall, il y a accroissement de la température du matériau. La température dans lequel plonge le capteur à effet Hall peut influencer ses caractéristiques électriques telles que l'offset ou la sensibilité du capteur. Le matériau doit donc être choisi pour présenter une faible variation de ses caractéristiques en fonction de la température.

ii. Résistance de charge :

Sur certains capteurs à effet Hall de précision, une résistance est placée en dérivation sur les broches de polarisation. La valeur optimale donnant l'erreur de linéarité la plus faible doit être ajustée pour chaque capteur.

iii. Composante de tension d'origine inductive :

Les connexions d'alimentations et de mesure entre le capteur à effet Hall et le circuit d'alimentation (voir la figure 2.3), constituent une boucle enlaçant une certaine surface qui ne peut être annulée, même pour un câblage très soigné.

Il suffit qu'un flux magnétique traversant cette boucle, va générer une tension qui s'exprime par la relation :

$$e = S \cdot \frac{dB}{dt} \quad (2.9)$$

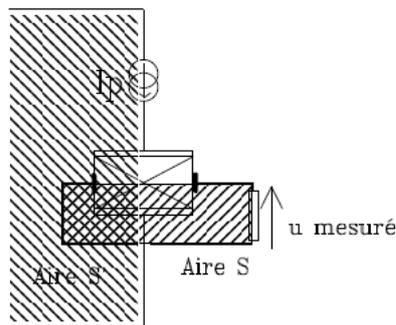


Figure 2.3 : surface de capture de l'induction magnétique induite

Cette tension se superposera à la tension de Hall proprement dite. Le même phénomène sur les connexions d'alimentation du capteur induit une tension qui modifie la polarisation. Pour éviter que la tension d'origine inductive ne soit trop importante par rapport à la tension de sortie du capteur à effet Hall, on aura intérêt à placer l'amplificateur au plus près de la cellule de Hall.

II.3.1.f Applications des capteurs à effet Hall :

Il ya plusieurs façons d'exploiter l'effet Hall : lorsqu'un courant circule dans le capteur on peut détecter soit le champ magnétique, soit toute grandeur physique influençant le champ magnétique.

En particulier :

- Pour la caractérisation du type d'un semi-conducteur
- Pour la mesure de la concentration des porteurs d'un semi-conducteur.
- Pour la détermination de la température en utilisant le fait que le nombre de porteurs et la mobilité d'un semi-conducteur évoluent avec celle-ci.
- Pour la mesure sans contact de courant forts.
- Pour la mesure des inductions magnétiques : teslamètre, gaussmètre, magnétomètre.
- Pour la détection des câbles électriques cachés dans un mur.
- Ils sont aussi utilisés comme capteurs de position, de niveau ou de déplacement.

II.3.2 Les bobines [11] :

Les bobines magnétiques exploitent la loi de Maxwell-Faraday qui dit que toute variation de flux magnétique dans une spire génère une force électromotrice dont la valeur est donnée par :

$$e = - \frac{d\phi}{dt} \quad (2.10)$$

Où ϕ est le flux d'induction magnétique.

En mesurant la tension aux bornes de la bobine, on en déduit la dérivée temporelle du flux magnétique. Le flux correspond au produit scalaire entre le vecteur d'induction magnétique B et le vecteur normal à la section de la spire S . En conséquence, les bobines ne mesurent le champ magnétique que selon un seul axe qui est l'axe des spires de la bobine. De plus, comme on le voit dans l'équation (10), les bobines ne mesurent pas le champ magnétique, mais la dérivée temporelle de celui-ci. Une bobine n'est donc pas capable de mesurer la composante continue du champ magnétique.

Il existe une méthode pour mesurer cette composante continue. Il faut pour cela faire tourner la bobine sur elle-même. Ainsi si l'on fait tourner la bobine à une vitesse de rotation ω , le flux perçu par la bobine est donné par la formule :

$$\phi = B_0 \sin(\omega t) \quad (2.11)$$

Où B_0 est le champ magnétique continu que l'on cherche à mesurer.

- Le principal intérêt des bobines leur prix et le fait qu'elles ne nécessitent pas une alimentation.
- Elles peuvent mesurer les champs d'induction magnétique allant de $1\mu\text{T}$ à 100mT avec une incertitude relative de 10^{-2} .
- Leur bande passante est 1Hz à 10kHz .

II.3.3 Capteurs magnéto-résistifs [12]:

On désigne par magnétorésistance la variation de la résistance d'un matériau sous l'action d'un champ magnétique. Celui-ci peut agir directement sur les électrons de conduction ou indirectement en affectant l'aimantation, la résistance dépendant alors de l'état magnétique du système.

II.3.3.1 Magnétorésistance anisotrope AMR :

Le phénomène de magnétorésistance anisotrope est connu depuis 1857 et fut découvert par W.Thompson qui deviendra plus tard Lord Kelvin.

Les capteurs AMR arrivent en deuxième position en ce qui concerne le taux d'utilisation comme capteur magnétique derrière les capteurs à effet Hall. L'origine microscopique du phénomène est assez complexe et a fait l'objet de nombreuses études.

II.3.3.1.a Définition d'axe d'anisotropie [12]:

Il s'agit d'un axe privilégié suivant lequel s'aligne le moment magnétique de façon spontanée en l'absence de champ magnétique (voir la figure 2.4). Si on applique un champ croissant parallèlement à cet axe et dans le sens inverse au moment magnétique, la direction de la vectrice aimantation reste inchangée jusqu'à ce que le champ coercitif H_k soit atteint. Au-delà de cette limite, le moment magnétique se retourne brutalement.

Pour revenir à l'état initial, il faut à nouveau appliquer un champ d'intensité supérieure à H_k dans le sens opposé.

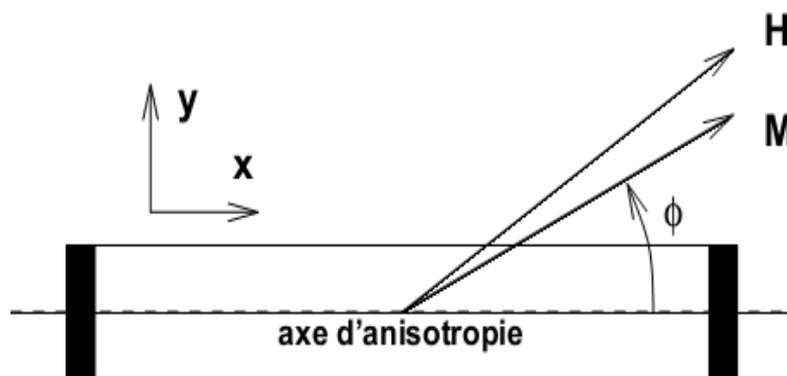


Figure 2.4 : définition de l'axe d'anisotropie

II.3.3.1.b Principe de fonctionnement:

Principe de fonctionnement est basé sur la variation de la résistance d'un matériau en fonction de la direction de l'aimantation qui lui est appliquée (voir la figure 2.5).

L'effet de magnétorésistance anisotrope dans les matériaux ferromagnétiques trouve son origine dans les mécanismes de diffusion des électrons de la bande 4s avec la bande 3d. Ce mécanisme n'est possible que lorsque la bande 3d est partiellement remplie.

La première ($3d^+$) associée aux électrons de spin up est légèrement plus basse que la seconde ($3d^-$) associée aux électrons de spin down. Dans le cas du nickel (figure 2.6), par exemple, la bande $3d^+$ se trouve juste en dessous du niveau de Fermi et est donc totalement pleine alors que la bande $3d^-$ est partiellement remplie.

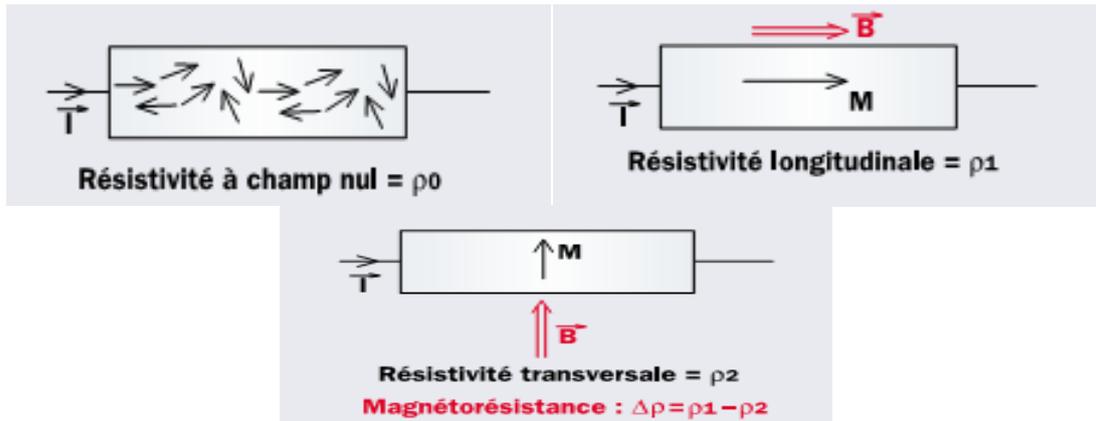


Figure 2.5 : variation de la résistance en fonction \vec{B}

Seuls les électrons de spin down de la bande 4s sont donc susceptibles de diffuser vers la bande 3d (voir la figure (2.6)). Sous l'influence d'un champ magnétique, l'interaction spin/orbite provoque un "mélange" entre les bandes 3d- et 3d+. On peut montrer que ce "mélange" est anisotrope et dépend de la direction.

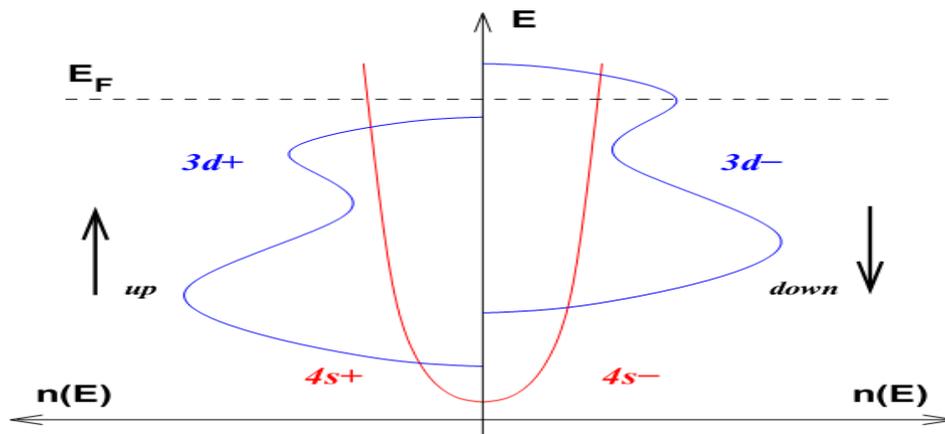


Figure 2.6: Structure de bandes simplifiée du nickel. Les bandes 3d + et 3d- sont identiques mais leurs niveaux d'énergie sont légèrement décalés.

Du mouvement des électrons. Ainsi, la diffusion s-d est plus forte pour les électrons se déplaçant parallèlement au champ magnétique local, c'est-à-dire parallèlement au vecteur aimantation. La résistance ρ d'un matériau ferromagnétique est donc maximale lorsque les lignes de courant sont parallèles au vecteur aimantation et minimale lorsqu'elles sont perpendiculaires :

$$\rho = \frac{\rho_{\perp} + \rho_{\parallel}}{2} + \frac{\rho_{\parallel} - \rho_{\perp}}{2} \cos(2\theta) \tag{2.12}$$

ρ_{\perp} et ρ_{\parallel} Sont les résistances en configurations parallèle et perpendiculaire respectivement et Θ est l'angle entre les lignes de courant et le vecteur aimantation.

II.3.3.2 Magnétorésistance géante (GMR) :

L'effet de magnétorésistance "géant" a été découvert en 1988 par l'équipe de Fert dans des empilements de fines couches de matériaux ferromagnétiques (Fer) séparées par des matériaux non magnétiques (Chrome).

II.3.3.2.a Principe de fonctionnement :

Son principe de fonctionnement est basé sur la diminution de la résistance électrique d'un matériau lors d'application d'un champ magnétique (voir la figure 2.7).



Figure 2.7 : Diminution de la résistance à l'application d'un champ \vec{B}

Les variations de résistance dans de telles structures (appelées magnétorésistances géantes ou GMR) s'expliquent par les phénomènes de diffusion des électrons dépendants du spin. En effet, dans les éléments ferromagnétiques les électrons de spin down (c'est-à-dire ceux dont le spin est antiparallèle au vecteur aimantation) sont plus fortement diffusés que les électrons de spin up (spin parallèle au vecteur aimantation).

Cela s'explique par la structure de bandes de ce type de matériaux (figure 2.7). Supposons maintenant qu'on soit en présence d'un empilement de type Fe/Cr/Fe/.../Cr/Fe dont les épaisseurs des couches de chrome ont été choisies de manière à avoir un couplage antiferromagnétique entre les couche de fer (figure 2.8).

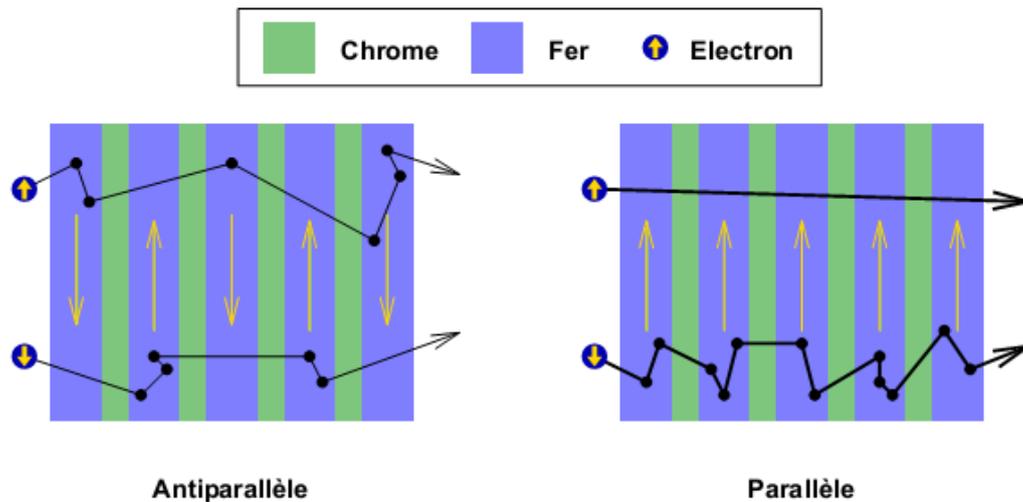


Figure 2.8 : Phénomènes de diffusion dans les magnétorésistances géantes.

Les électrons sont fortement diffusés lorsque leur spin est antiparallèle avec le vecteur aimantation. Les vecteurs aimantation des couches de fer sont représentés en jaune.

En l'absence de champ magnétique externe, les vecteurs aimantation des couches de fer adjacentes sont donc antiparallèles et alignés avec l'axe d'anisotropie. Les électrons des deux espèces (spin up et spin down) sont alors fortement diffusés dans une couche de fer sur deux et la résistance de la structure est élevée.

Si on applique un champ magnétique suffisamment intense pour vaincre ce couplage et orienter tous les vecteurs aimantation dans la même direction, les électrons de spin up ne sont alors pratiquement plus diffusés dans la structure.

Leur libre parcours moyen devient plus grand et cela se traduit par une réduction importante de la résistance. Les électrons de spin down sont eux fortement diffusés et ne participent que très peu à la conduction du courant électrique (figure 2.8). D'une manière générale, la résistance ρ est une fonction de l'angle entre les vecteurs aimantation des couches adjacentes

$$\rho = \frac{\rho_P + \rho_{Ap}}{2} + \frac{\rho_P - \rho_{Ap}}{2} \cos(\theta) \quad (2.13)$$

ρ_P, ρ_{Ap} : sont les résistances en configuration parallèle et antiparallèle respectivement.

II.3.3.3 Applications des capteurs magnéto-résistifs :

Les capteurs magnéto-résistifs de type AMR sont principalement utilisés dans la mesure de champs faibles en raison de leur grande sensibilité.

Quant aux composants magnéto-résistifs à effet GMR, ils sont principalement destinés à deux types de capteurs : les gradiomètres (qui détectent une variation du champ magnétique entre deux points) et les magnétomètres (qui permettent de mesurer l'intensité d'un champ magnétique).

- On trouve les capteurs GMR dans les têtes de lecture des disques durs.
- La mesure de vitesse. Des gradiomètres de la société américaine NVE sont ainsi utilisés pour mesurer la vitesse de rotation et la position.
- La mesure des courants électriques est une autre application. Les magnétomètres GMR peuvent mesurer un champ allant du continu à plus d'1MHz, avec une bien meilleure sensibilité et un meilleur comportement en température que les capteurs à effet Hall.
- Associés à des électroniques complexes, ils permettent de réaliser des codeurs magnétiques linéaires et angulaires, et des réseaux de ponts permettant de détecter un motif dessiné par des encres magnétiques.

II.3.4 Les fluxgates :

II.3.4.a Historique [13] :

Les premiers capteurs fluxgate ont été développés dans les années 1930 [13], mais ils sont toujours utilisés aujourd'hui avec le même principe dans de nombreuses applications notamment celles qui se fondent sur la mesure du champ terrestre.

Le capteur fluxgate le plus simple se compose d'un noyau fait d'un matériau magnétique doux, le plus souvent un alliage ferromagnétique, et d'au moins deux bobines : une pour l'excitation et l'autre pour la détection (figure 2.9).

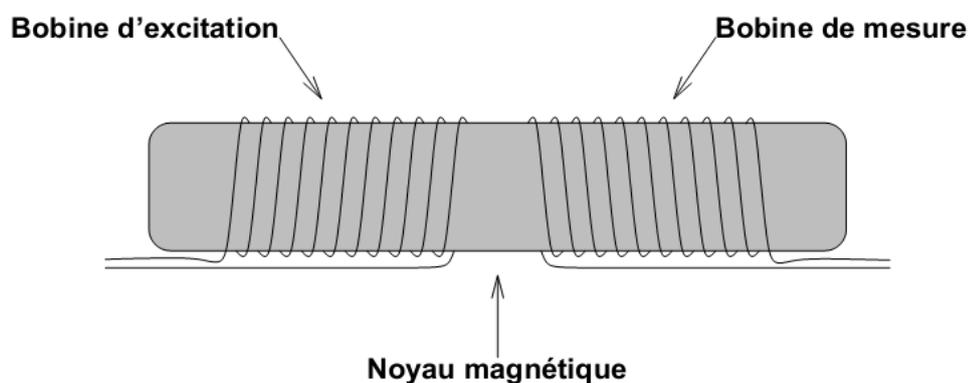


Figure 2.9 : Structure de base d'un capteur de type fluxgate

II.3.4.b. Principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement de ces capteurs est relativement simple et exploite à la fois le phénomène de saturation et la symétrie de la courbe d'aimantation d'un noyau magnétique. Pour cela, la bobine d'excitation est alimentée par un courant alternatif dépourvu d'harmoniques paires (sinusoïde, signal triangulaire...) de manière à générer un champ magnétique périodique.

Ce champ doit être suffisamment intense pour pouvoir saturer totalement le noyau magnétique dans les deux directions. Le flux d'induction de la bobine de mesure étant à peu près proportionnel à l'aimantation d'un noyau :

$$B = \mu_0(H + M) \approx \mu_0 M \quad (2.14)$$

La tension induite dans la bobine de mesure se présente sous la forme d'une série d'impulsions. En l'absence de champ externe, ce signal ne contient que des harmoniques impaires d'u signal d'excitation. La présence d'un champ magnétique externes s'ajoutant au champ magnétique d'excitation induit une asymétrie dans le champ total ce qui se traduit par l'apparition d'harmoniques paires dans le signal obtenu aux bornes de la bobine de mesure (voir la figure 2.10).

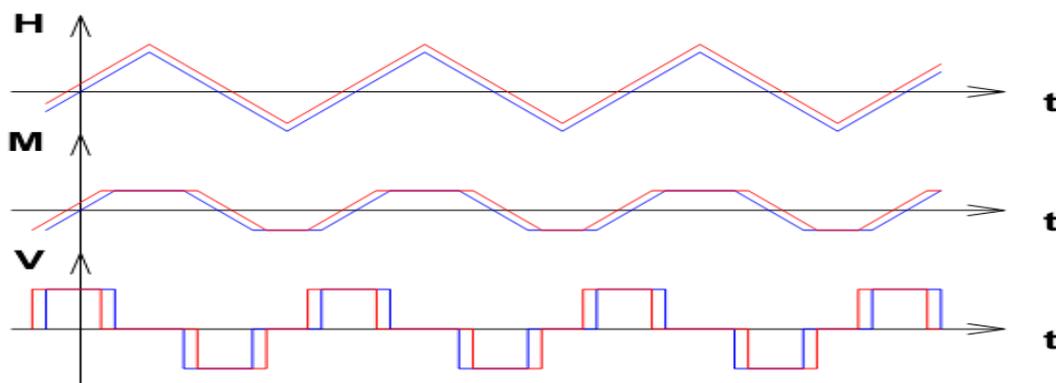


Figure 2.10: la réponse d'une bobine lors de l'application d'un champ magnétique

Lorsqu'un champ externe est appliqué (courbes rouges), il s'ajoute au champ d'excitation et perturbe la séquence normale (courbes bleues). De haut en bas, le champ H appliqué au noyau magnétique, l'aimantation M du noyau et la tension V induite dans la bobine de mesure.

A l'aide de techniques de filtrage associées à un système de détection synchrone, il est alors possible de déduire la valeur du champ magnétique externe.

II.3.4.c Limitations liées aux capteurs fluxgate :

Par rapport à ses concurrents, notamment les capteurs AMR, un de ses défauts provient de son encombrement : un capteur fluxgate est un capteur actif, nécessite une alimentation en courant alternatif, et sa consommation élevée continue est une de ses limitations majeures. Son électronique d'interface synchrone, et sa consommation atteint typiquement quelques centaines de milliwatts.

Le capteur fluxgate, quoique relativement complexe à mettre en œuvre, est de loin le capteur le plus utilisé dans les applications de haute précision.

II.3.5 Les SQUIDS :

II.3.5.a Historique [14] :

Le SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) a été inventé en 1964 par Robert Jaklevic, John J, Lambe, James Mercereau et Arnod Silver des laboratoires de recherches Ford après que Brian David Josephson ait postulé l'effet Josephson en 1962 et que la première jonction Josephson ait été fabriquée par John Rowell et Philip Anderson aux laboratoires Bell en 1963 [14].

II.3.5.b principe de mesure:

Le SQUID ne permet pas de mesurer le champ mais plutôt sa variation (voir la figure 2.11). En effet, le flux piégé dans le supra conducteur est quantifié et ne peut être modifié que d'une valeur multiple « du quantum » le flux $\phi_0 = h/2e$.

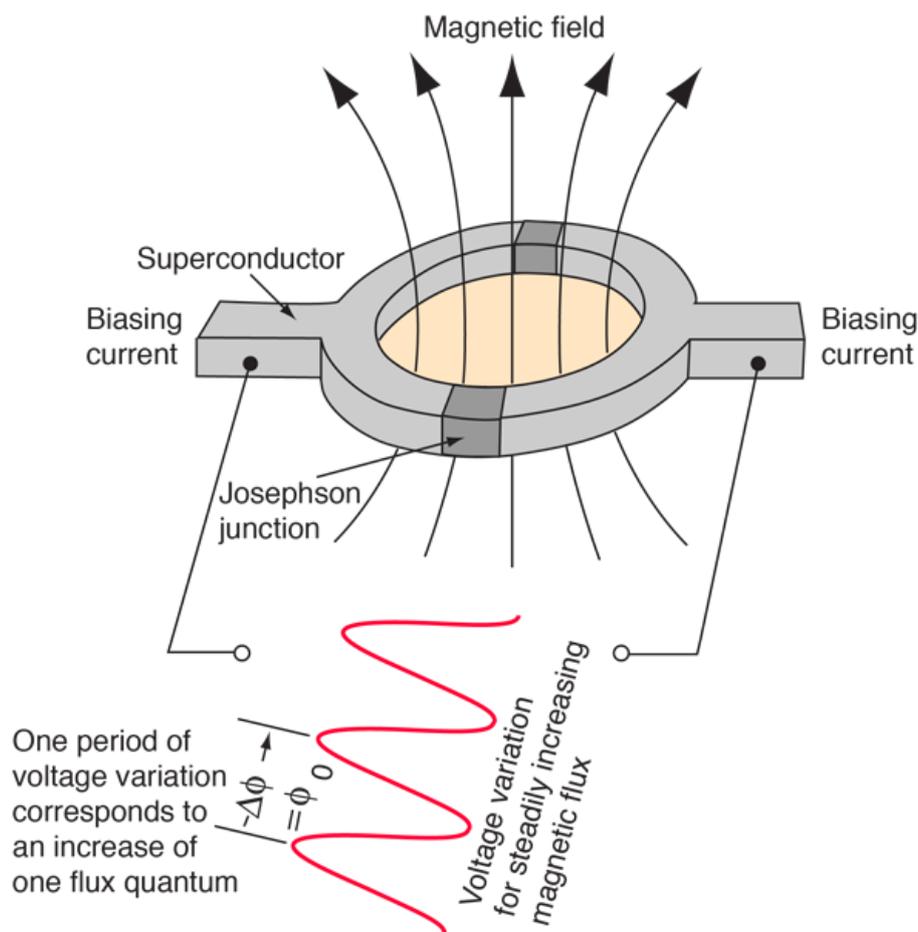


Figure 2.11 : schéma de principe de mesure

Dans le SQUID, la tension mesurée oscille avec les changements de la phase aux deux jonctions, qui dépend du changement du flux magnétique. Le comptage des oscillations permet d'évaluer le changement de flux qui s'est produit.

II.4 Conclusion :

Au regard à ce qui précède, on peut dire qu'il existe diverses façons pour détecter le champ magnétique grâce aux différents types de capteurs magnétiques, cela dit, les capteurs magnétiques n'ont pas la même aptitude et de fait pas les mêmes fonctions, tableau 2 résume l'utilisation de ces capteurs.

Niveau de champ	10^{-9}T		10^{-4}T
Catégorie	Haute précision	Moyenne précision	Faible précision
Définition	Mesure de gradient ou différence de champ	Mesure de champ magnétique terrestre	Mesure de champ supérieur au champ terrestre
Applications	Encéphalographie magnétique	Boussole Détection de munitions	Mémoire magnétique Mesure de courant Détection sans contact
Capteurs	SQUID	Capteur à induction Fluxgate Magnétorésistances	Capteurs à induction Capteurs à effet Hall

Tableau 2.2 : Applications des capteurs magnétiques selon leur gamme de mesure.

Table des matières

II. DETECTEURS DE CHAMP MAGNETIQUE.....	16
II.1 Introduction :.....	16
II.2 Historique du magnétisme et présentation des unités :.....	16
II.3. Les capteurs magnétiques :.....	17
II.3.1 Les capteurs à effet Hall :	18
II.3.1.a Historique :.....	18
II.3.1.b Effet de la force de Lorenz et génération du champ de Hall :.....	18
II.3.1.c Tension de Hall V_H :.....	19
II.3.1.d Construction de capteur à effet Hall:	20
II.3.1.e Imperfections liées aux capteurs à effet Hall :	20
II.3.1.f Applications des capteurs à effet Hall :.....	21
II.3.2 Les bobines [11] :	22
II.3.3 Capteurs magnéto-résistifs [12]:.....	22
II.3.3.1 Magnéto-résistance anisotrope AMR :.....	22
II.3.3.1.a Définition d'axe d'anisotropie [12]:.....	23
II.3.3.1.b Principe de fonctionnement:	23
II.3.3.2 Magnéto-résistance géante (GMR) :	25
II.3.3.2.a Principe de fonctionnement :.....	25
II.3.3.3 Applications des capteurs magnéto-résistifs :.....	26
II.3.4 Les fluxgates :.....	27
II.3.4.a Historique [13] :.....	27
II.3.4.b. Principe de fonctionnement :	28
II.3.4.c Limitations liées aux capteurs fluxgate :.....	28
II.3.5 Les SQUIDS :.....	29
II.3.5.a Historique [14] :	29
II.3.5.b principe de mesure:	29
II.4 Conclusion :	30

PARTIE 2
ETUDE PRATIQUE



III. ETUDE PRATIQUE DU DETECTEUR DE CHAMP MAGNETIQUE

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons procéder à une analyse expérimentale sur différents capteurs de champ magnétique et expliquer les différentes opérations et traitement effectués sur la tension issue du capteur pour la rendre linéaire. Suite aux résultats obtenus nous allons sélectionner le plus performant pour la suite de notre chaîne de mesure.

Pour cela nous avons créé un champ magnétique à travers deux sources un aimant et un transformateur (220V-15V), et nous avons mesuré la variation de la tension issue du capteur en fonction de la distance.

III.2 Analyse expérimentale des différents capteurs de champ magnétique :

III.2.1 Capteur à effet Hall UGN3503U :

Le capteur utilisé appartient à la classe des capteurs passifs, il est alimenté par une source de tension de 5v (voir le brochage sur la figure 3.1), il possède une pente de 10mV /mT.

Le brochage du capteur :



Figure 3.1 : brochage du capteur à effet Hall UGN3503U

Après que nous ayons alimenté le capteur loin de tout champ magnétique ($B=0$), nous avons récupéré à la sortie une tension U_s voisine de 2.5V .

Un potentiomètre du type multitours ajustable à vis 100k est utilisé (voir la figure 3.2). Pour lire directement l'intensité de champ magnétique sur le voltmètre numérique, nous avons réglé ce potentiomètre à l'aide d'un petit tourne-vis pour que la tension lue sur le voltmètre soit nulle .

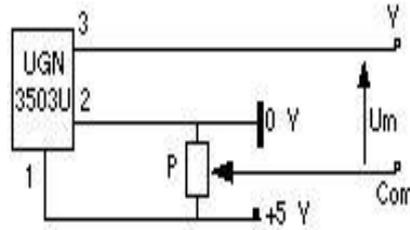


Figure 3.2 : circuit de conditionnement du capteur à effet Hall UGN3503U

En appliquant un champ magnétique créée par un aimant, les variations de la tension de sortie en fonction de la distance est présentées sur le tableau suivant :

D (cm)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5
V (mV)	812	538	336	199	120	72	49	31	21	15

5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13
10	7	5	4	3.3	2.2	1.8	1.4	1.2	0.9	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1	0

Tableau 3.1 : représente la variation de la tension en fonction de la distance pour le capteur à effet Hall de type UGN3503U

Le graphique ci-dessous illustre les variations de tension en fonction de la distance

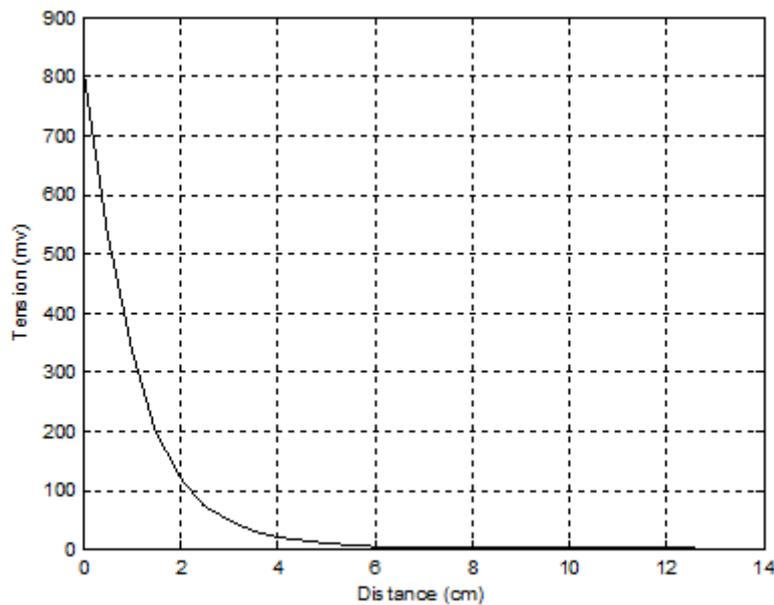


Figure 3.3 : Représentation de la tension en fonction de la distance pour UGN3503U

D’après la représentation graphique (voir la figure 3.3) nous remarquons tout de suite que la réponse du capteur à effet Hall (UGN3503U) est sous forme exponentielle et présente toujours une non linéarité mais aussi un intervalle de détection considérable.

La même expérience que la précédente a été refaite mais en changeant la source du champ magnétique, nous avons utilisé un transformateur (220V-15V). Dans cette expérience le capteur UGN3503U n'a rien détecté.

III.2.2 Bobine :

III.2.2.a Bobine de 100 spires : (voir la figure 3.4)

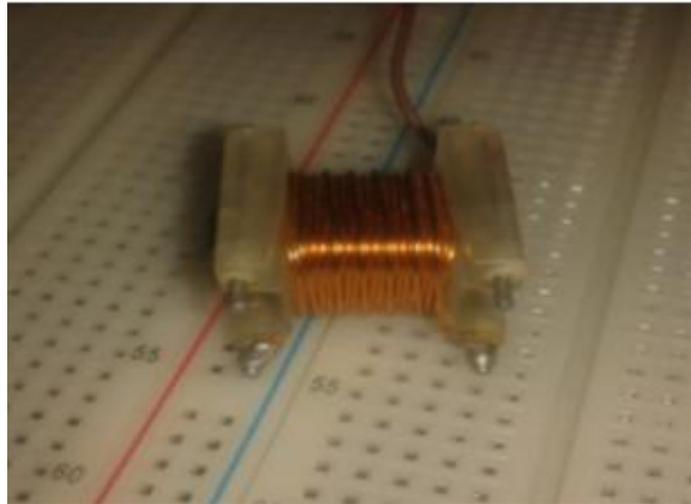


Figure 3.4 : bobine de 100 spires

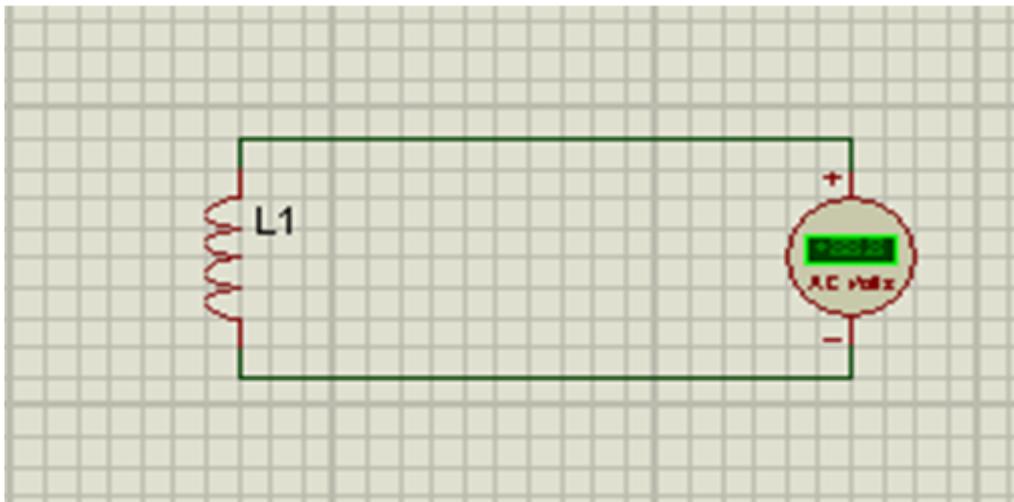


Figure 3.5 : circuit d'un capteur de champs magnétique par une bobine

En appliquant un champ magnétique créé par un aimant, les variations de la tension de sortie en fonction de la distance sont présentées sur le tableau suivant :

D (cm)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5
V (mV)	1.6	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1	0.1	0

Tableau 3.2 représente la variation de la tension en fonction de la distance pour la bobine de 100 spires

Le graphique ci-dessous illustre les variations de la tension en fonction de la distance:

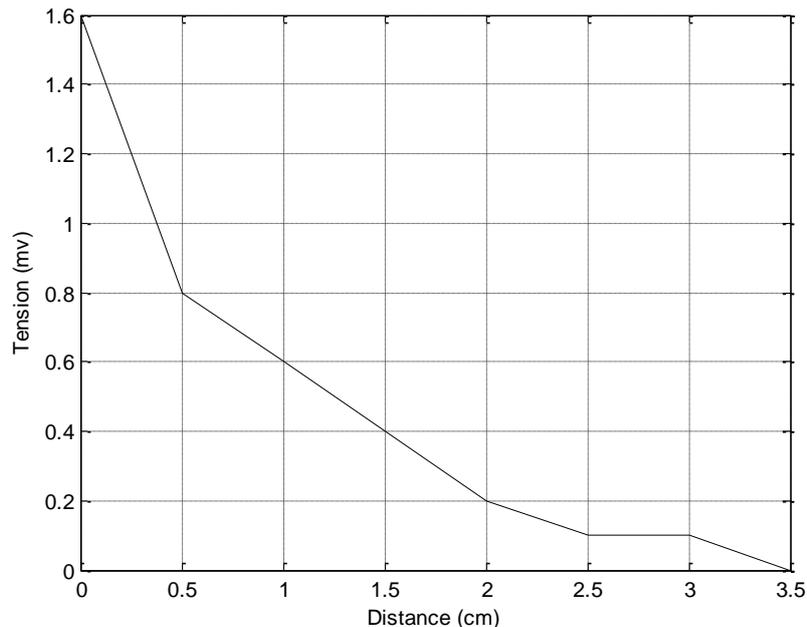


Figure 3.6: Représentation de la tension en fonction de la distance pour bobine 100 spires (source aimant)

Nous remarquons que la représentation graphique (voir la figure 3.6) montre clairement une non linéarité de la bobine (100 spires) et une très petite étendue de mesure, chose qui nous a poussés à l'abandonner.

En appliquant un champ magnétique créé par transformateur, les variations de la tension de sortie en fonction de la distance sont présentées sur le tableau suivant :

D (cm)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5
V (mV)	1.6	1.3	1	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0

Tableau 3.3 représente la variation de la tension en fonction de la distance pour la bobine de 100 spires (source transformateur)

La courbe obtenue est illustrée dans la figure suivante :

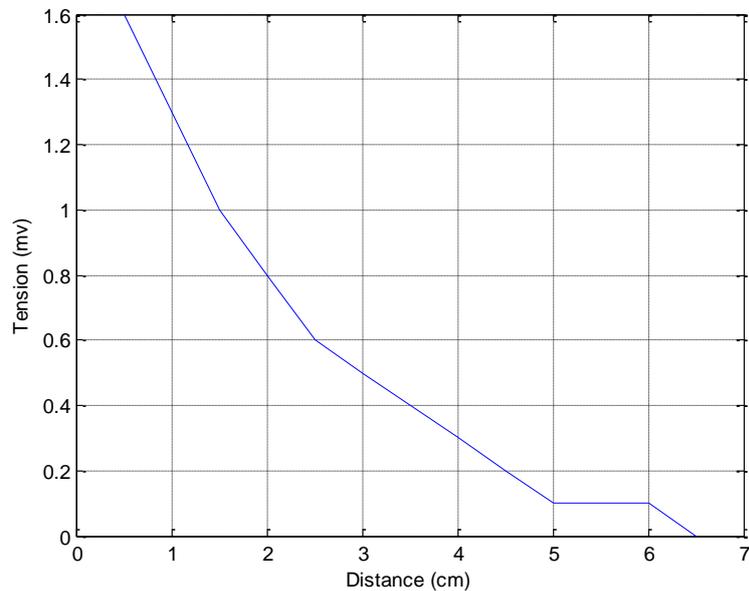


Figure 3.7: Représentation de tension en fonction de distance pour bobine 100 spires appliquée par un transformateur

D'après la représentation graphique (voir la figure 3.7) remarquons tout de suite que la bobine présente des intervalles linéaires et d'autre non linéaire.

III.2.2.b Bobine 364PE: (voir la figure 3.8)



Figure 3.8 Bobine 364PE

En appliquant un champ magnétique créé par un aimant, la bobine du type 364PE n'a pas pu détecter plus que 1cm de distance avec une valeur 0.4 mV chose qui nous a poussé à l'abandonner.

III.2.2.c Bobine de 2000 spires : (voir la figure 3.8)



Figure 3.9 Bobine 2000 spires

En appliquant un champ magnétique créé par un aimant, les variations de la tension de sortie en fonction de la distance sont représentées sur les tableaux suivants :

D (cm)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5
V (mV)	2.5	1.6	1.3	1	0.6	0.5	0.4	0.2

D (cm)	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5
V (mV)	0.1	0.1	1.3	0.1	0.1	0.1	0	0

Tableau 3.4 représente la variation de la tension en fonction de la distance pour la bobine de 2000 spires

Le graphique ci-dessous illustre le résultat obtenu :

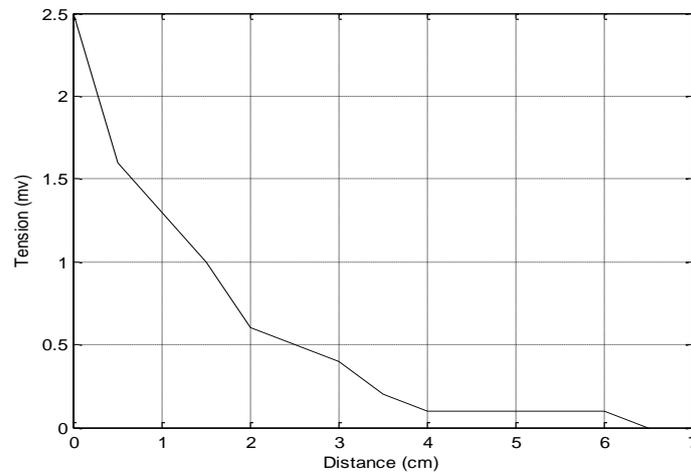


Figure 3.10: Représentation de tension en fonction de la distance pour bobine 2000 spires

Nous remarquons que la présentation graphique (voir la figure 3.10) montre une non linéarité dans toute la plage de mesure chose qui nous a poussé à l'abandonner.

III.2.3 L'antenne :

En réalisant le circuit de la figure (3.12) qui est composé d'une antenne et un multimètre.



Figure 3.11 l'antenne utilisée



Figure 3.12 circuit de l'antenne

En appliquant un champ magnétique crée par un aimant, les variations de la tension de sortie en fonction de la distance sont présentées sur le tableau suivant :

D (cm)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
V (mV)	1.6	1.1	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0

Tableau 3.5 représente la variation de la tension en fonction de la distance pour l'antenne

La courbe obtenue est la suivante :

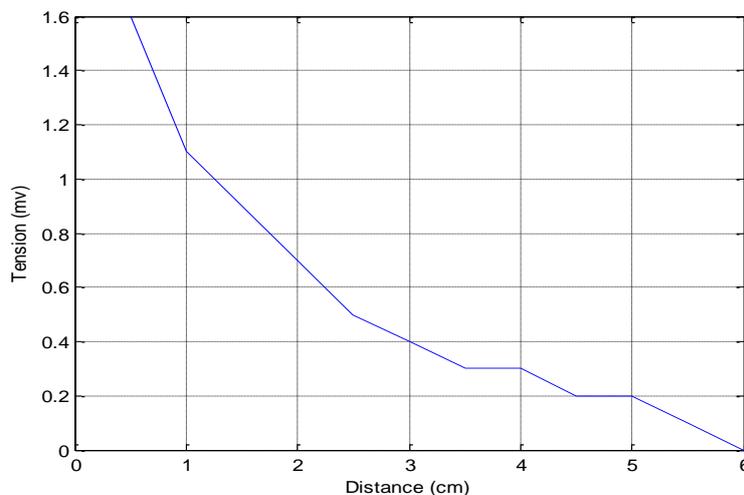


Figure 3.13: Représentation de tension en fonction de la distance pour l'antenne (source aimant)

Nous remarquons de suite que la réponse de l'antenne (voir la figure 3.13) présente une non linéarité accentué, mais aussi elle présente une gamme de détection considérable.

En appliquant un champ magnétique crée par transformateur (220V-15V), les variations de la tension de sortie en fonction de la distance est présentées dans le tableau suivant :

D (cm)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
V (mV)	6.1	5.4	5	4.6	4.3	3.9	3.5	3.3	3.1	2.8	2.5	2.3	1.9	1.7	1.4	1.2

8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15
1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.1	0.1	0

Tableau 3.6 : Représentation de tension en fonction de la distance pour l'antenne (source transformateur)

Le graphique ci-dessous illustre le résultat obtenu :

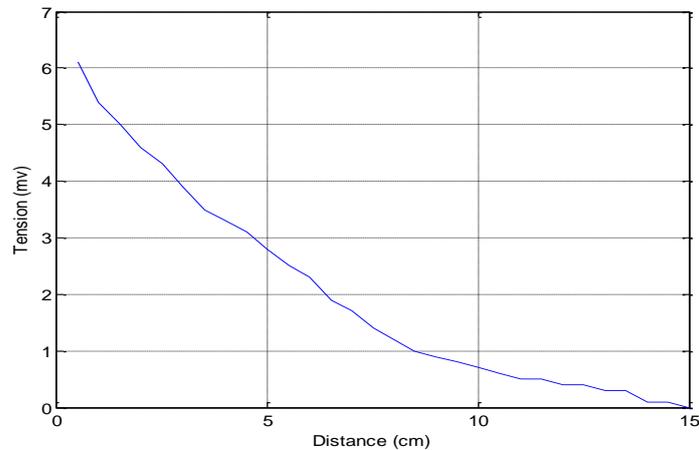


Figure 3.14: Représentation de tension en fonction de la distance pour l'antenne appliquée à un transformateur

D'après la représentation graphique (voir la figure 3.14) nous remarquons tout de suite que la réponse de l'antenne est sous forme exponentiel, nous voyons un intervalle de détection très grand.

III. 3 Mesures avec amplification :

Nous remarquons que dans les expériences précédentes tous les capteurs génèrent à ses sorties des tensions différentielles très faibles, nous allons donc utiliser un étage d'amplification (voir la figure 3.15) composé de deux amplificateurs inverseurs de type TL081, chaque amplificateur a un gain de 10 pour obtenir une amplification globale de 100 et un étage d'adaptation selon le schéma électrique suivant :

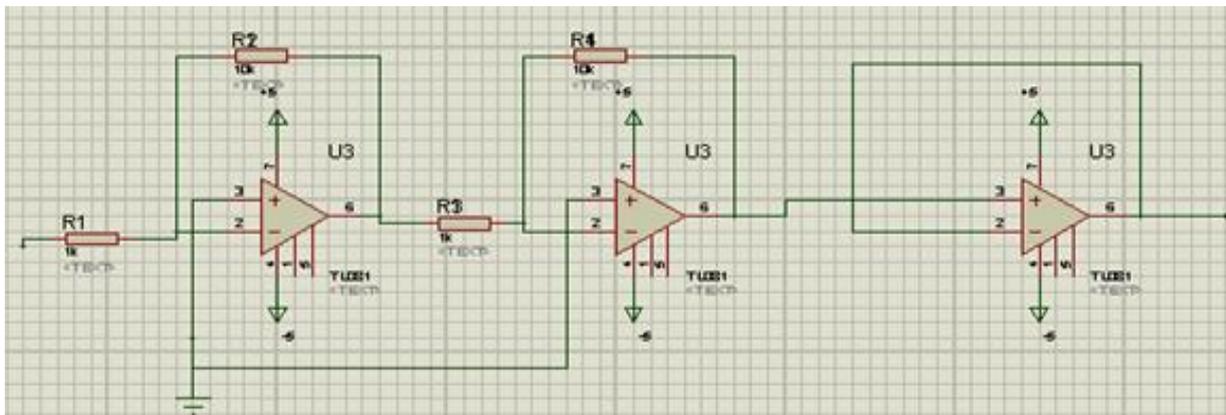


Figure 3.15 circuit d'amplification et d'adaptation

Le gain de cet étage est confirmé par les résistances R1, R2, R3 et R4 selon les relations :

$$G1 = \frac{-R2}{R1} \tag{3.1}$$

$$G2 = \frac{-R4}{R3} \tag{3.2}$$

Le gain global est calculé par : $G_{global} = G1 \times G$ (3.3)

III.3.1 Amplification du signal de capteur à effet Hall UGN3503U :

La chaîne de mesure de cette partie est la suivante (voir la figure 3.16):

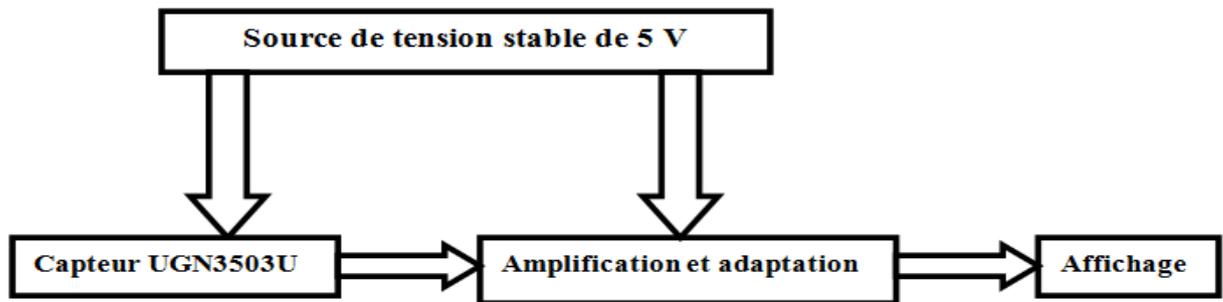


Figure 3.16 Schéma synoptique du circuit d’amplification du capteur UGN3503U

En appliquant un champ magnétique crée par un aimant les variations de la sortie du capteur c’est en fonction de la distance sont présentées sur les tableaux suivants :

D (cm)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
V (v)	3.64	3.62	3.58	3.54	3.50	3.48	3.44	3.42	3.36	2.82	2.40	2.22

6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13
2.03	1.83	1.71	1.6	1.52	1.50	1.48	1.46	1.44	1.42	1.38	1.36	1.32	1.30

Tableau 3.7 : Représentation de tension en fonction de la distance après amplification du capteur UGN3503U

Le graphique ci-dessous illustre le résultat obtenu :

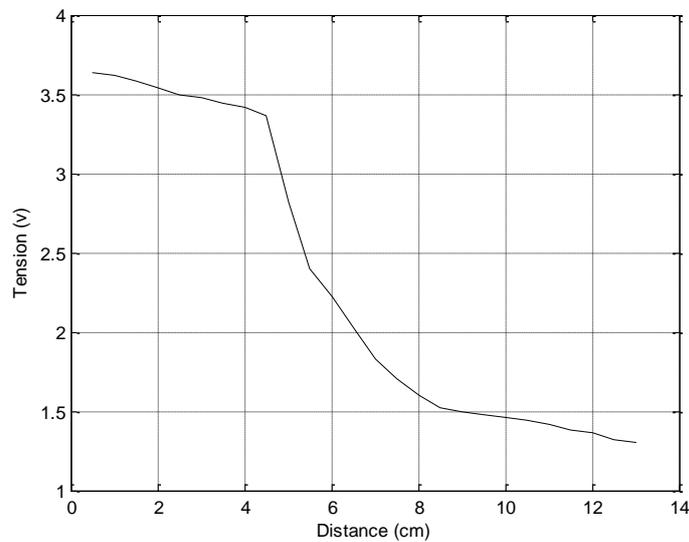


Figure 3.17 : Représentation de tension en fonction de la distance pour UGN3503U après amplification

Nous remarquons que la réponse du capteur varie toujours de la même façon (voir la figure 3.17) , il ya juste une amplification dans l’amplitude de signal issu du capteur UGN3503U.

III.3.2 Amplification du signal de la bobine 100 spires :

La chaine de mesure de cette partie est la suivante (voir la figure 3.18) :



Figure 3.18 Schéma synoptique du circuit d’amplification de la Bobine

En appliquant un champ magnétique crée par un aimant les variations de la sortie du capteur c’est en fonction de la distance sont présentées sur les tableaux suivants :

D (cm)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.7	7
V (mV)	36	32	26	19.6	17	12	8	3	2	1	0.6	0.2	0.1	0.1

Tableau 3.8 : Représentation de tension en fonction de la distance après amplification pour la bobine de 100 spires

Le graphique ci-dessous illustre le résultat obtenu :

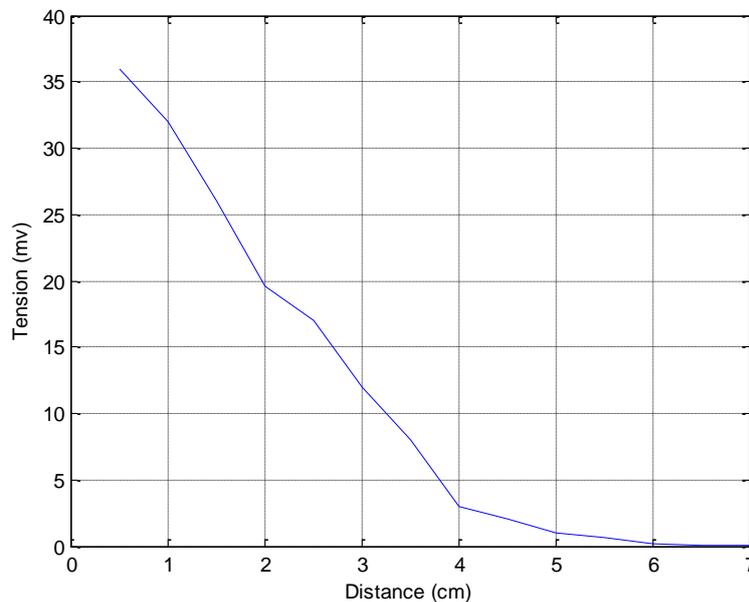


Figure 3.19 Représentation de tension en fonction de la distance pour la bobine 100 spires après amplification

Nous remarquons une atténuation accentuée pendant l'intervalle [0 : 4] cm de distance (voir la figure 3.19) cette atténuation peut être considérée comme une droite négative.

III.3.3 Amplification du signal de l'antenne :

La chaîne de mesure de cette partie est la suivante (voir la figure 3.20) :

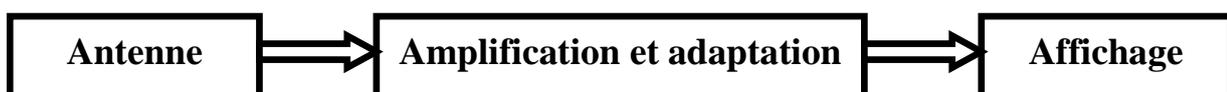


Figure 3.20 Schéma synoptique du circuit d'amplification de l'antenne

L'antenne n'a rien détecté après que nous avons ajouté un étage d'amplification.

III.3.4 Discussion des résultats :

Après une série d'essais, nous avons obtenus une liste des courbes qui traduisent la variation de la tension en fonction de la distance entre l'aimant et le capteur.

Nous constatons que la forme de toutes ces courbes est une fonction exponentielle, ce qui nous a poussé à faire une petite recherche sur la variation du champ magnétique en fonction de la distance.

Les réponses obtenues sont satisfaisantes (le champ magnétique varie exponentiellement avec la distance [15]).

Alors la seule solution pour avoir une réponse linéaire est de linéariser la courbe elle-même.

Si on ne procède pas à une mesure exacte du champ mais seulement à la détection (par croissance et décroissance) les réponses peuvent convenir.

Ceci est exactement le but de notre projet.

III.4 Les méthodes de linéarisation :

Il existe différents procédés, dits de linéarisation, qui permettent de corriger le défaut de linéarité d'un capteur ou dans ses conditionneurs éventuels lorsqu'ils présentent dans leur domaine d'emploi des écarts à la linéarité interdisant de considérer la sensibilité comme constante.

Ces procédés de linéarisation peuvent être classés en deux groupes :

- ✓ D'une part, ceux qui interviennent sur la source même du signal électrique de façon à linéariser ce dernier dès son origine.
- ✓ D'autre part, ceux qui interviennent en aval afin de corriger la non linéarité de signal fourni par un traitement approprié, analogique ou numérique.

Dans ce qui va suivre nous nous intéressons seulement à la méthode analogique de linéarisation.

- Par la présentation Thévenin, nous avons placé une résistance en série avec le capteur et à chaque fois nous changeons la valeur de la résistance nous prenons les mesures [16]. (figure 3.21)
- Par la présentation Norton, nous avons placé une résistance en parallèle avec le capteur et à chaque fois nous changeons la valeur de la résistance nous prenons les mesures. pour le capteur effet Hall et les bobines (figure 3.22)
- Par l'ajout d'un circuit logarithme [18] (figure 3.23), les résultats sont illustrés dans la figure (3.24).

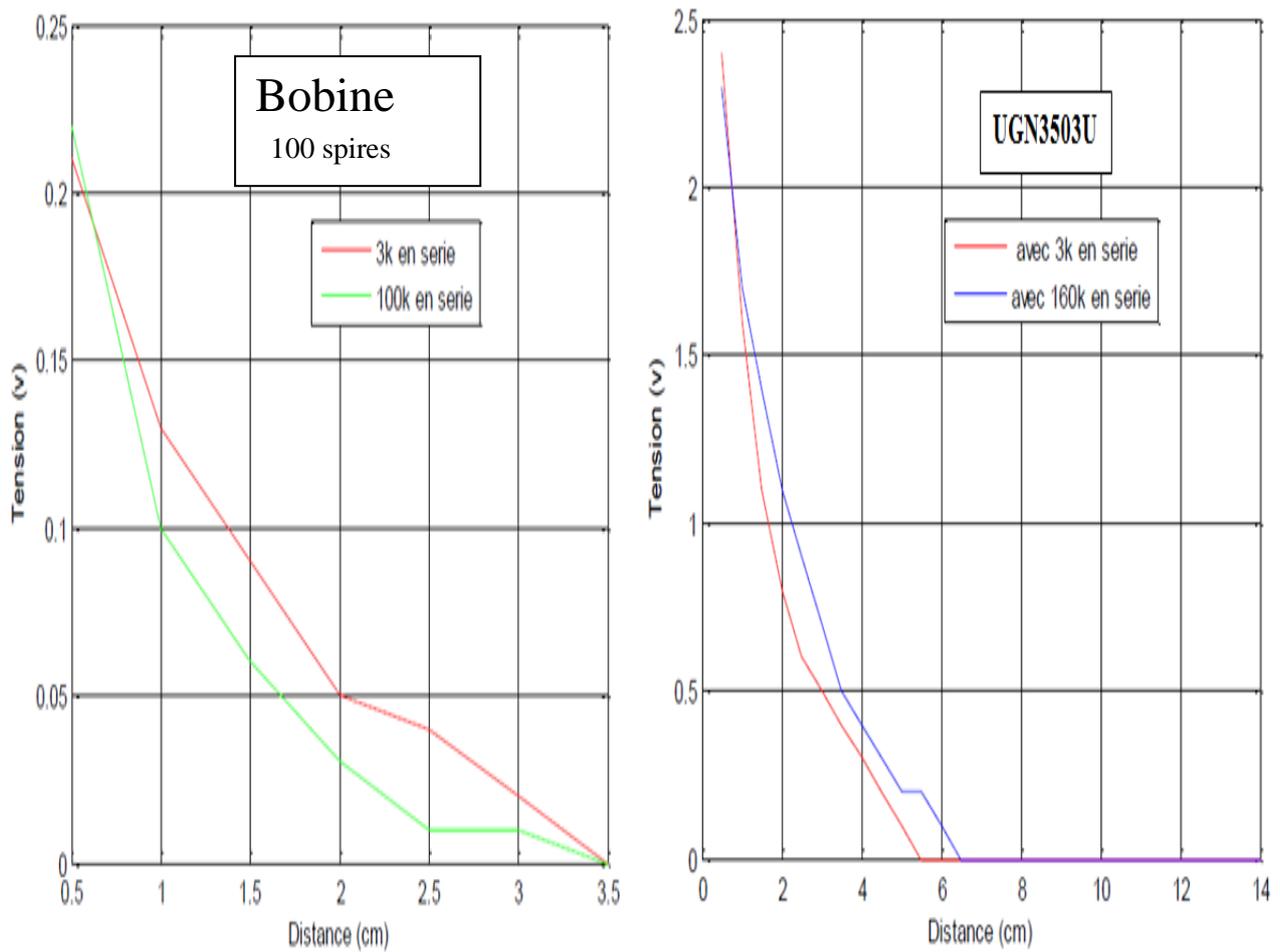


Figure 3.21 Représentation des résultats de modèle Thévenin pour l'UGN3503U et la Bobine (100) spires

Nous remarquons qu'après l'utilisation du modèle Thévenin il y'a une modification au niveau des deux courbes quelque soit le capteur. Ce modèle a permis d'avoir des intervalles linéaires comme la figure 3.22 le montre.

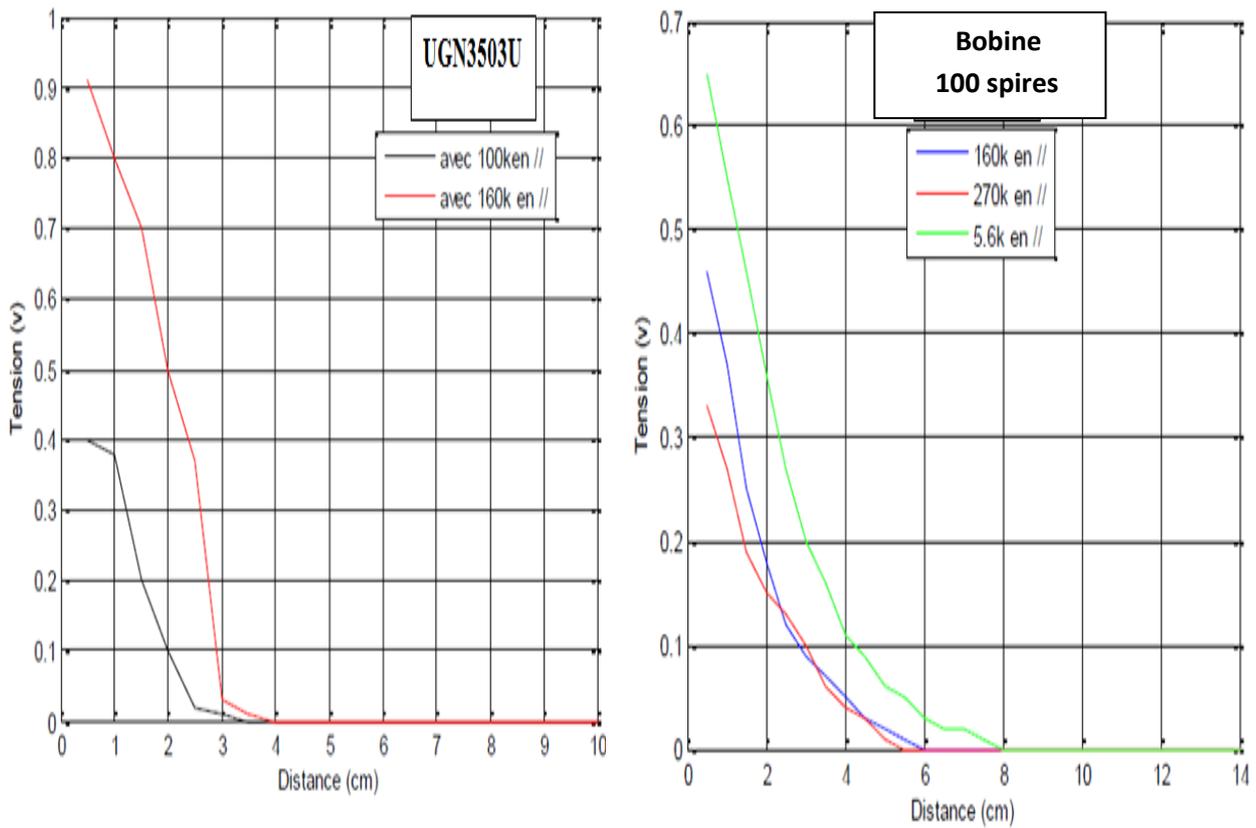


Figure 3.22 Représentation des résultats de modèle Norton pour l'UGN3503U et la Bobine (100) spires

Après l'application du modèle de Norton nous voyons bien que ce modèle nous a donné des résultats plus pratiques concernant la bobine par rapport au modèle de Thevenin et une étendue de mesure plus large (voir la figure 3.22).

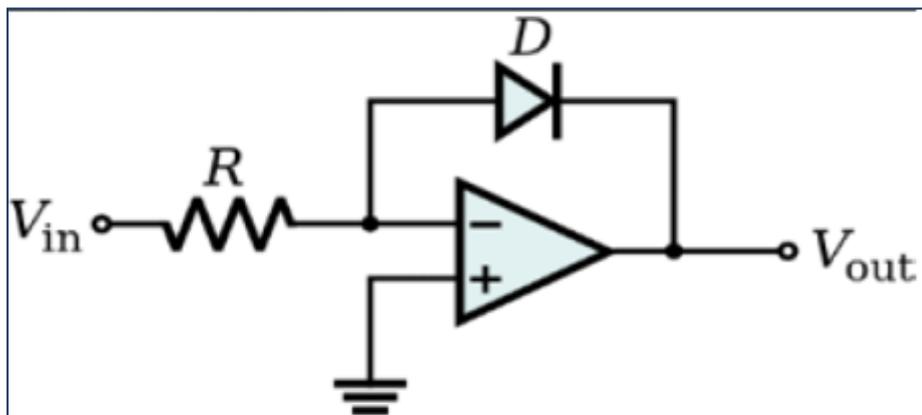


Figure 3.23 Circuit logarithmique

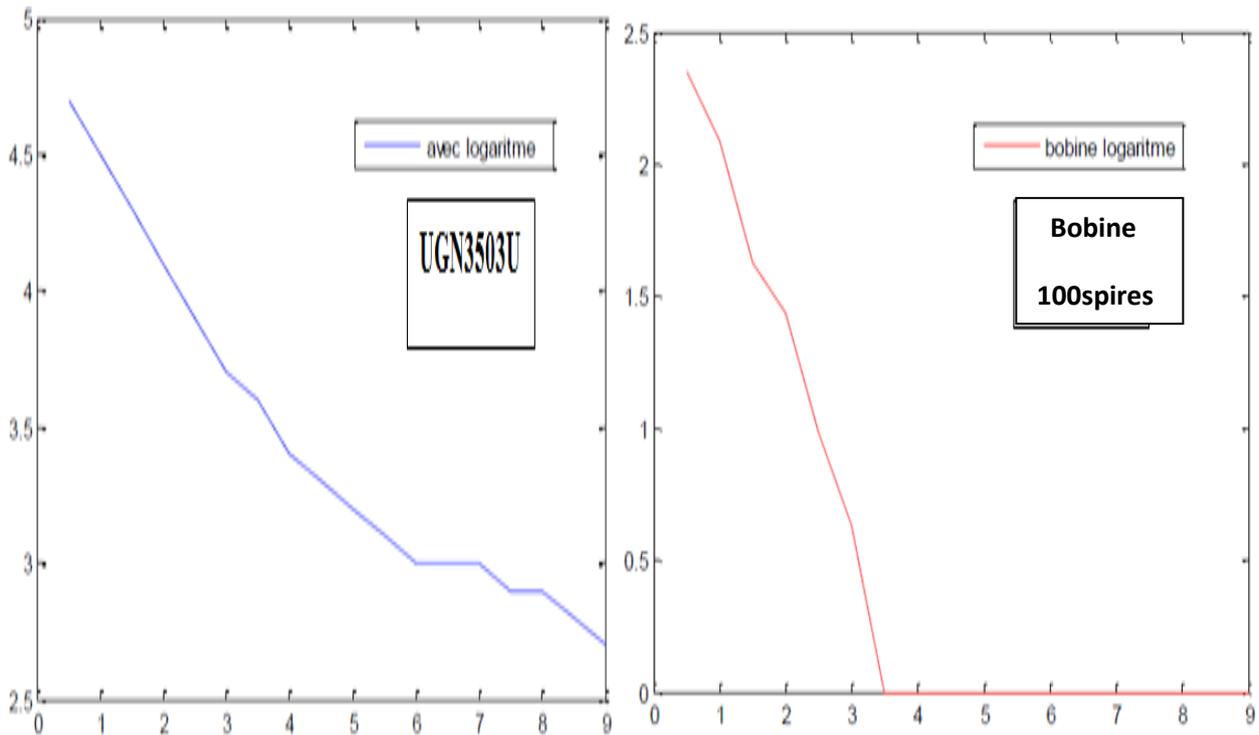


Figure 3.24 Représentation des résultats issus après l'application d'un circuit logarithmique

Nous remarquons que le circuit logarithmique (figure 3.23) a assuré une linéarité dans une grande plage de mesure.

III.4.1 Comparaison des résultats des trois méthodes :

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que pour les trois méthodes il ya une modification dans la forme de la courbe.

Nous voyons bien que le circuit logarithmique nous a donné le meilleurs résultat par rapport aux deux modèles (Thévenin et Norton) parce qu'il présente un intervalle de linéarité plus étendu.

III.5 Application de la méthode de moindre carré :

On utilise la méthode des moindres carrés pour obtenir une courbe optimale concernant les mesures obtenues par l'utilisation du capteur à effet Hall de type UGN3503U et de bobine de 100 spires après la linéarisation du signal :

$$Y = ax + nb$$
$$XY = ax^2 + xb$$

n : nombre de mesure

$$X = \sum x_i$$
$$Y = \sum y_i$$
$$XY = \sum x_i y_i$$

Pour faciliter les calculs nous avons établi un programme sous MATLAB (voir l'annexe 10).

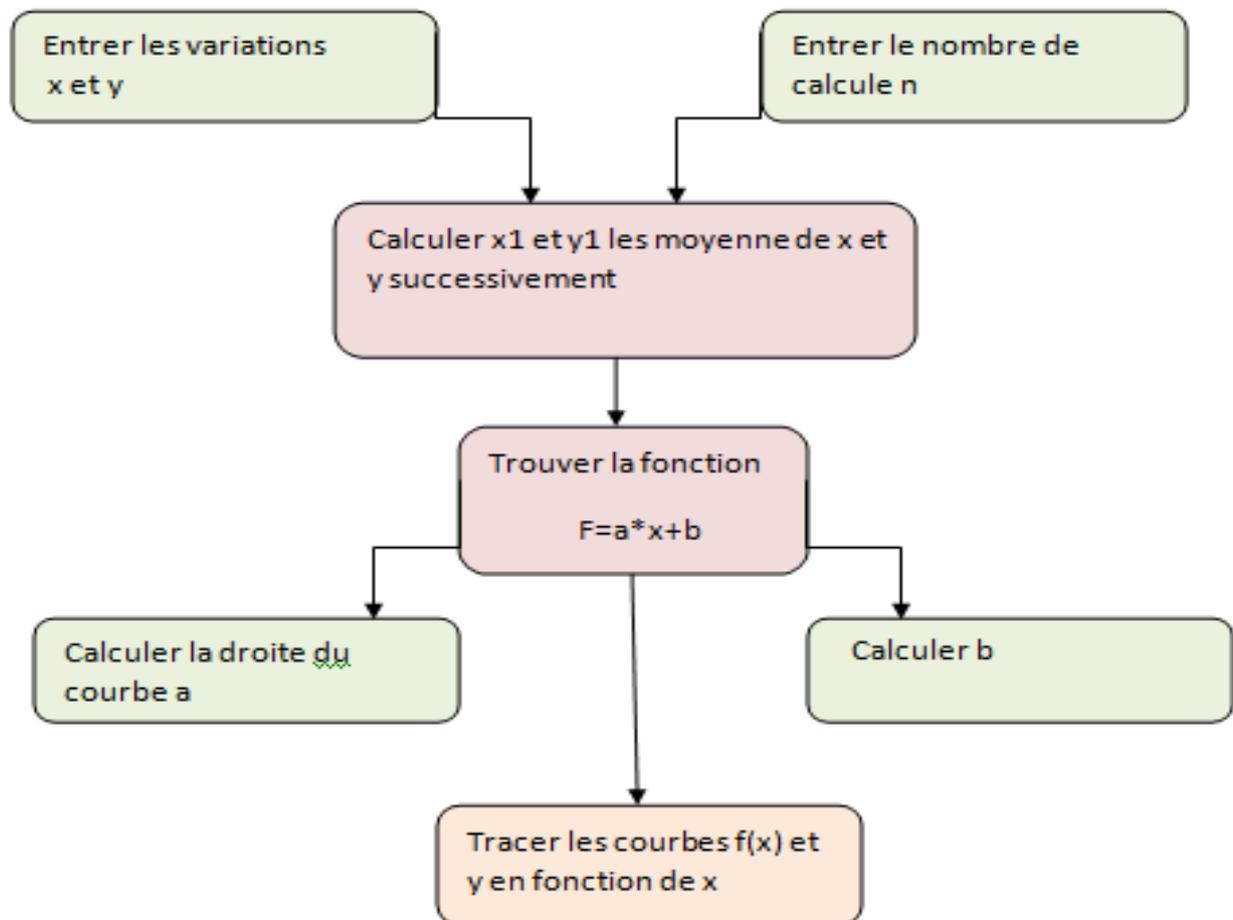


Figure 3.25 : l'organigramme du programme MATLAB

Les graphiques ci-dessous illustrent les résultats obtenus :

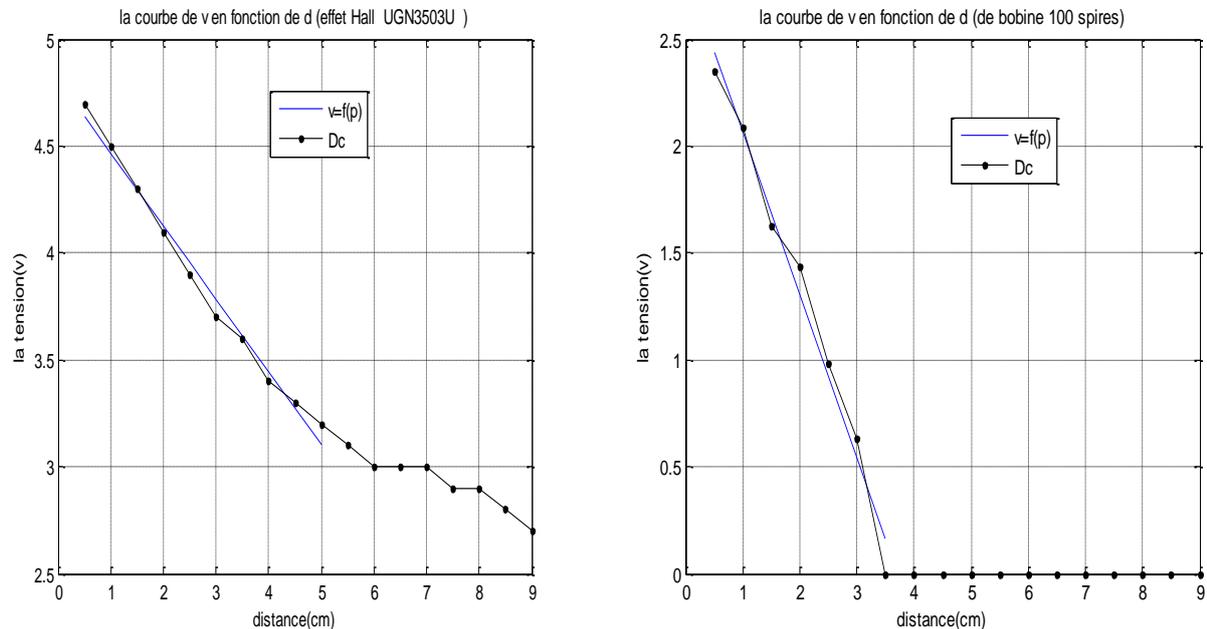


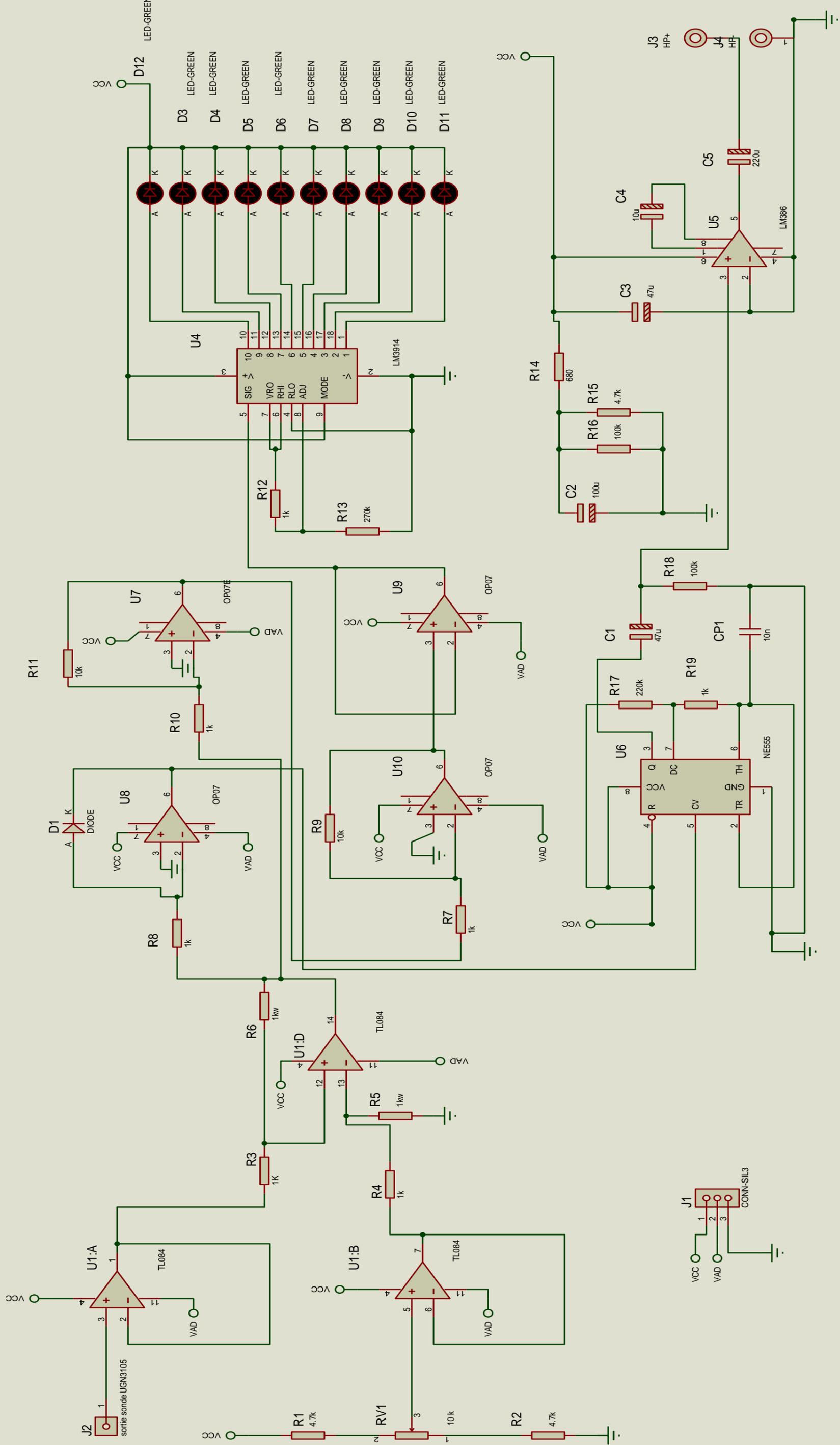
Figure 3.26 Représentation des résultats issus après l'application de la méthode des moindres carrés

Nous observons (figure 3.26) que le capteur à effet Hall UGN3503U est le plus linéaire il présente une sensibilité stable dans l'intervalle 0 et 5 cm.

III.6 Conclusion :

Après une série des essais effectués dans cette partie et une étude bien détaillée sur la linéarité et la sensibilité des trois capteurs (capteur à effet Hall, bobine et antenne) nous avons sélectionné le plus performant pour la suite de notre chaîne de mesure.

Nous avons choisi le capteur à effet Hall de type UGN3503U qui présente un large intervalle de linéarité et une sensibilité constante le long de cet intervalle, c'est un capteur miniaturisé, solide et il supporte les hautes températures.



IV. REALISATION DU DETECTEUR DE CHAMP MAGNETIQUE

Dans cette partie nous allons aborder la chaîne de mesure de notre détecteur de champ magnétique, qui est composé de :

- Source de tension.
- Capteur UGN3503U
- Etage de mise en forme (soustraction, linéarisation et amplification).
- Affichage.

IV. 1 Source de tension :

Pour un fonctionnement correcte et surtout pour un usage pratique, le circuit présenté ici doit être alimenté avec une pile de 9V. L'emploi d'une alimentation secteur est déconseillé car son propre rayonnement pourrait être capté par le circuit et rendre la mesure fautive, en prenant notre thème en considération le détecteur doit être transportable comme la majorité des appareils de mesure.

Tous les blocs du circuit sont alimentés par une tension de +5V et -5V.

Le schéma électrique de l'alimentation contient deux étages :

IV.1.1 Etage de régulation :

Cet étage contient le régulateur de tension 7806 (voir la figure 4.1) qui assure de garder la tension de la sortie constante quelque soit le courant demandé en 5V.

Les constructeurs de composants électroniques proposent des régulateurs intégrés à trois bornes, très répandus, tels que la série 78XX positives et la 79XX négatives [16]. Ces régulateurs sont faciles à utiliser et avec un prix dérisoire. En effet, les trois bornes sont : une pour la tension non régulée d'entrée, une pour la tension régulée de sortie et une pour la masse. Le schéma de principe est représenté sur la figure (4.1).

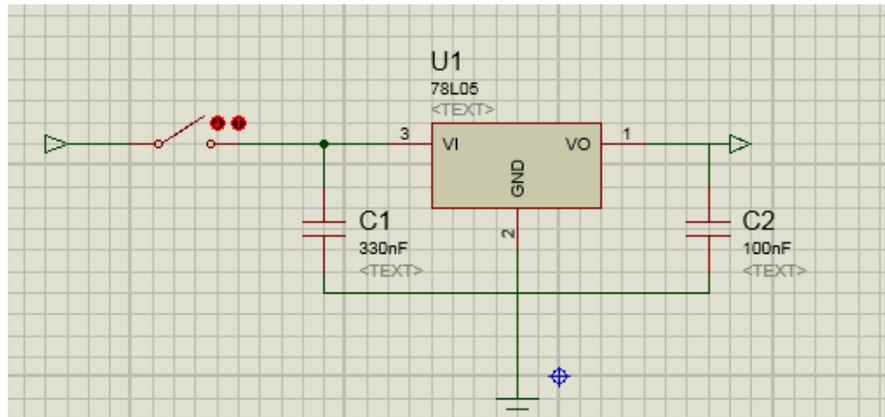


Figure (4.1) brochage du régulateur 78L05

Les capacités C1 et C2 permettent de réduire les fluctuations de la tension à l'entrée et sortie du 7806 et éliminer les pics de courant. L'interrupteur est placé à l'entrée du régulateur afin d'éviter toute perte de puissance lorsque l'appareil est sous tension.

IV.1.2 Etage inverseur :

Il contient l'inverseur qui inverse la tension 5V en -5V pour alimenter les amplificateurs (figure 4.2).

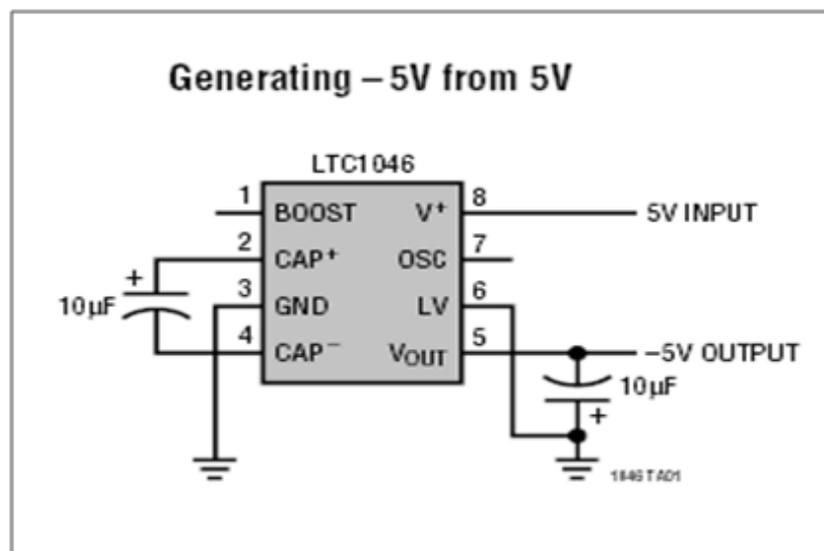


Figure (4.2) brochage du circuit LTC1046

IV.2 Capteur utilisé :

Le capteur de champ magnétique utilisé est un circuit intégré spécialisé UGN3503U (annexe 1). Ce capteur (voir la figure 4.3) utilisé appartient à la classe des capteurs passifs, il est alimenté par une source de tension. Lorsqu'il est alimenté sous une tension de 5V, la tension de sortie varie exponentiellement avec la distance entre celui-ci et la source de champ magnétique.

D'après l'analyse expérimentale, on a observé que le capteur à effet Hall de type UGN3503U présente une meilleure détection (7 cm), avec une partie linéaire (après avoir linéariser le signal de sortie).



Figure 4.3 brochage du UGN3503U

IV.3 Mise en forme du signal de sortie du capteur à effet Hall UGN3503U:

Les variations de distance de notre capteur sont toujours décalées par 2.5V, chose qui n'est pas pratique dans notre cas puisque la grandeur est de l'ordre de millivolts.

La partie mise en forme est essentiellement constituée par quatre fonctions de base :

- Une fonction diviseur de tension à niveau variable
- Une fonction soustracteur
- Une fonction linéarisation
- Une fonction amplificateur

IV.3.1 La fonction diviseur :

Cet étage est employé pour générer une tension de 2.5 V qui va être appliquée à l'entrée de soustracteur pour éliminer la tension résiduelle du capteur.

Il contient un diviseur de tension (voir la figure 4.4) porté d'un potentiomètre multi-tour et un suiveur pour garder l'adaptation d'impédance entre les étages.

La ddp du diviseur de tension est appliquée sur l'entrée du suiveur (Figure 4.4)

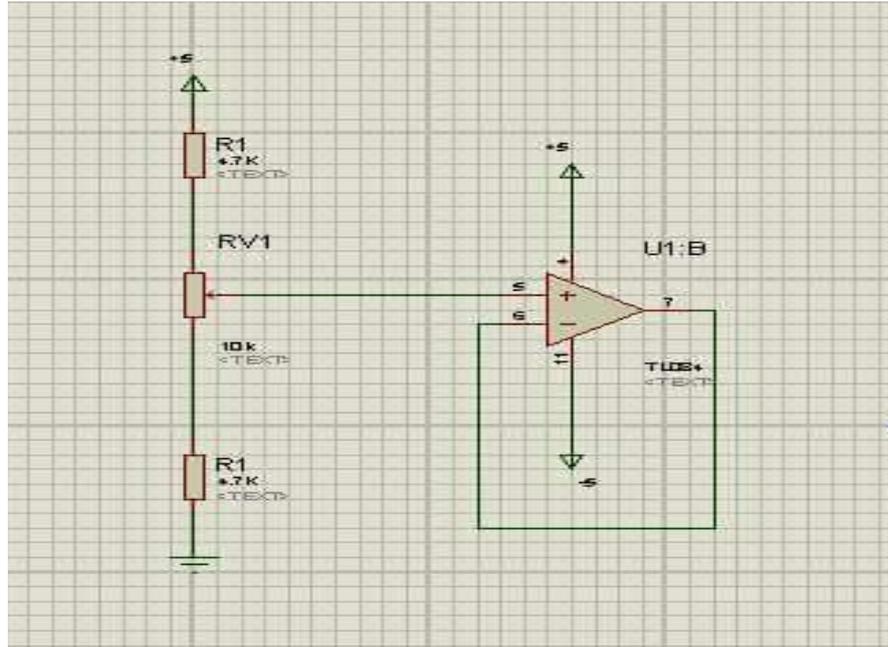


Figure 4.4 diviseur de tension et suiveur

Un deuxième suiveur est utilisé comme adaptateur entre le capteur et l'étage de soustraction (Figure 4.5).

IV.3.2 Fonction suiveur :

Nous avons ajouté un suiveur pour garder l'adaptation d'impédance entre les différents étages et pour ne pas avoir une perte d'information.

Le suiveur est un cas particulier de l'amplificateur sans inversion. Il n'amplifie pas en tension puisque :

$$U_s = U_e \quad (4.1)$$

$$G = \frac{U_s}{U_e} = 1 \quad (4.2)$$

Ce circuit est idéal en entrée et en sortie d'un montage pour bénéficier d'impédance d'entrée infinie (ou presque) et d'impédance de sortie très basse.

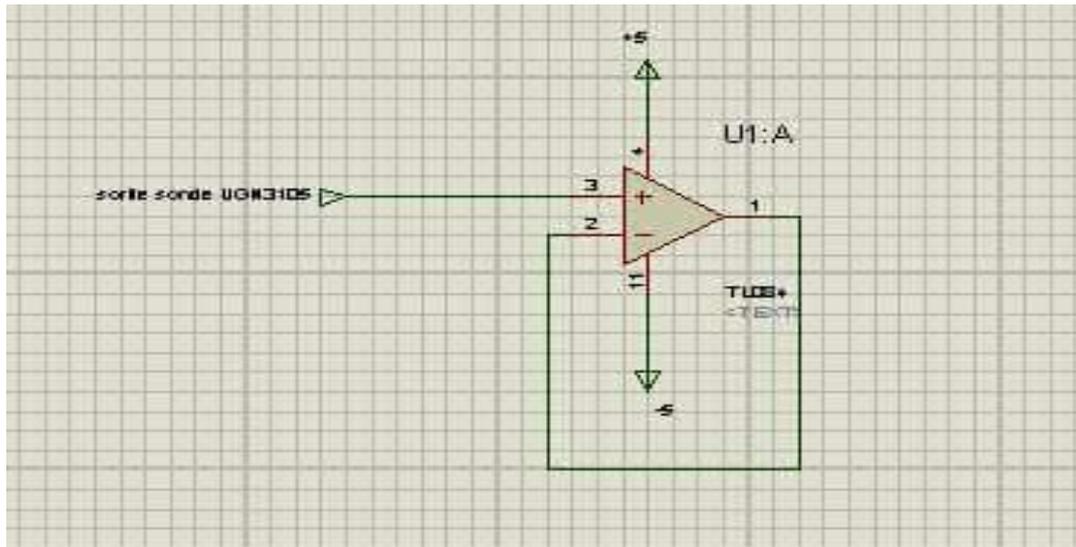


Figure 4.5 circuit d'adaptation

IV.3.3 La fonction soustracteur :

Après que nous avons généré une tension de 2.5 V et à partir de la tension issue du capteur ce circuit va faire la soustraction entre ces deux tensions pour avoir à sa sortie 0V.

Le soustracteur est un amplificateur différentiel intégré ; il amplifie la différence entre V1 appliquée à l'entrée inverseuse et la tension V2 appliquée à l'entrée non inverseuse (figure 4.6).

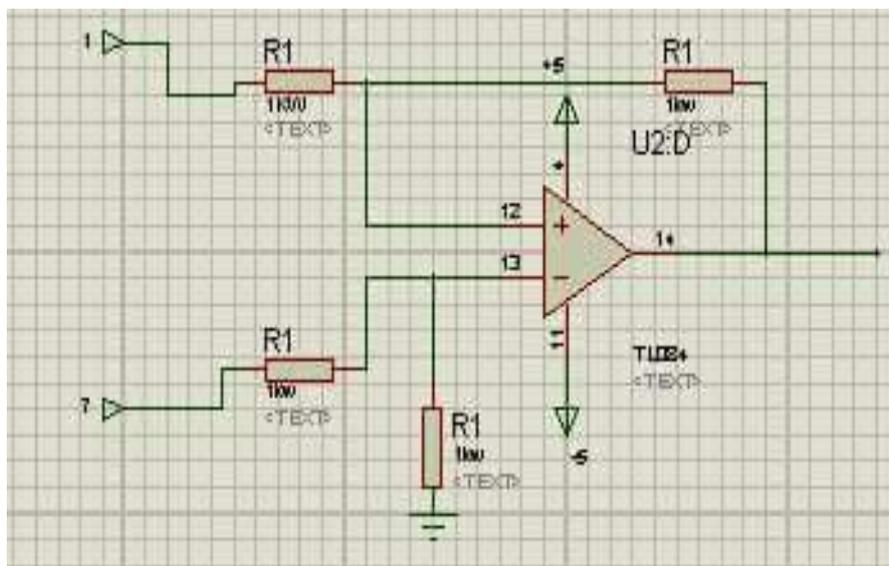


Figure 4.6 circuit de soustraction

$$V_s = \frac{R_4}{R_3} V_2 - \frac{R_2}{R_1} V_1 \quad (4.3)$$

Puisque $R_1=R_2=R_3=R_4=1k$ alors :

$$V_s = V_2 - V_1 \quad (4.5)$$

Toute la partie de soustraction et adaptation est composée de trois amplificateurs opérationnels. Nous avons décidé d'utiliser le circuit intégré TL084 car il procède 4 amplificateurs opérationnels.

La figure (4.7) illustre le brochage du TL084 dans notre circuit :

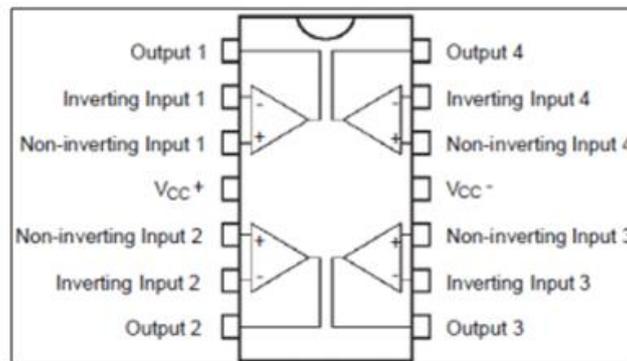


Figure 4.7 le brochage du TL084

IV.3.4 La fonction linéarisation :

Après que nous avons éliminé la tension résiduelle du capteur nous avons rencontré un problème de linéarité.

Puisque la réponse de notre capteur est de type exponentiel, on a utilisé un opérateur logarithmique pour la linéariser.

Nous avons réalisé cet opérateur en mettant une diode (qu'elle a une réponse exponentielle) dans la contre-réaction d'un amplificateur opérationnel TL081 (Figure 4.8).

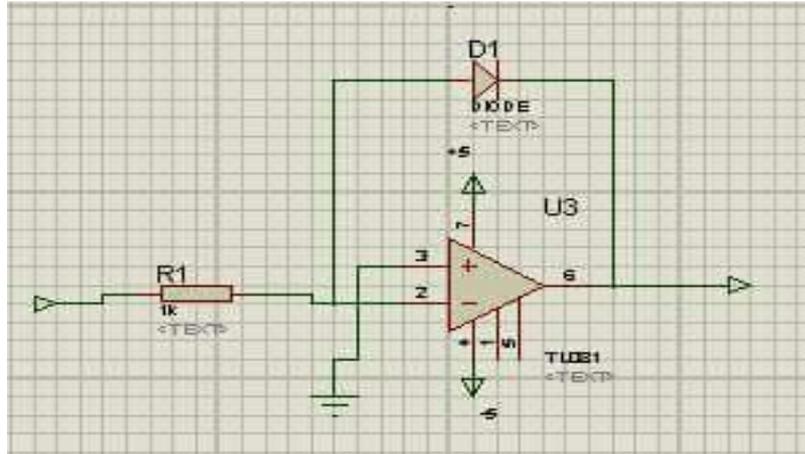


Figure 4.8 circuit logarithmique

$$V_{out} = K \ln \frac{V_{in}}{V_{ref}} \tag{4.6}$$

IV.3.5 La fonction amplificateur :

Le capteur génère à sa sortie une tension différentielle très faible, nous allons donc utiliser un étage d’amplification (voir la figure 4.9) composé de deux amplificateurs inverseurs de type TL081, chaque amplificateur a un gain de 10 pour obtenir une amplification globale de 100 selon le schéma électrique suivant :

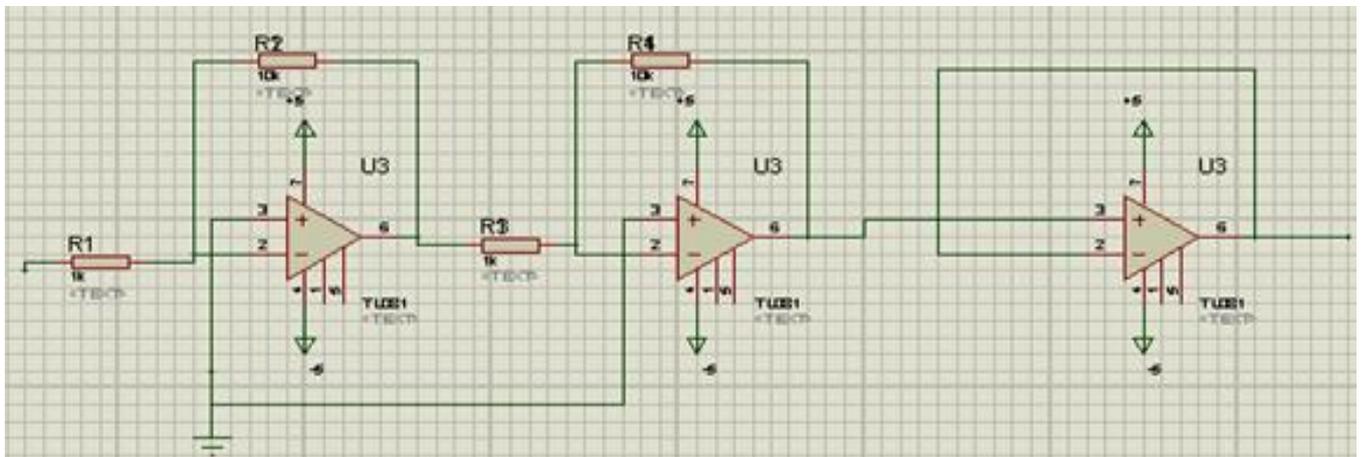


Figure 4.9 circuit d’amplification

L’entrée non inverseuse est reliée à la masse et le signal d’entrée est relié à l’entrée inverseuse par une résistance de 1k.

La sortie est reliée à cette entrée par une résistance de 10 k.

Le gain de cet étage est confirmé par les résistances R1, R2, R3 et R4 selon les relations :

$$G1 = \frac{-R2}{R1} \tag{4.7}$$

$$G2 = \frac{-R4}{R3} \quad (4.8)$$

Le gain global est calculé par :

$$G_{\text{global}} = G1 \times G2 \quad (4.9)$$

IV. 4 L'affichage :

La plupart des appareils de détection contiennent un afficheur à LEDs et un système sonore c'est le cas pour notre circuit.

IV.4.1 Affichage à LEDs :

Cette section (figure 4.10) est centrée sur le circuit intégré LM3914 qui réclame une tension continue sur son entrée de mesure (borne 5) pour afficher quelque chose de stable.

Le LM3914, en boîtier DIL 18, fonctionne de la manière suivante: il compare une tension d'entrée à une tension de référence et affiche le résultat en allumant, au choix, une LED parmi dix (mode DOT, *point* en anglais), ou les n premières LED (mode BARGRAPH), et ce de manière proportionnelle au rapport entre la tension d'entrée et la tension de référence. Si la tension d'entrée est variable (et c'est là que le LM3914 montre toute son utilité), la variation se traduira par l'allumage ou l'extinction de LED, selon une échelle linéaire. En définitive, on obtient un dispositif d'affichage analogique permettant de visualiser aisément la variation de la tension d'entrée (Figure 4.10).

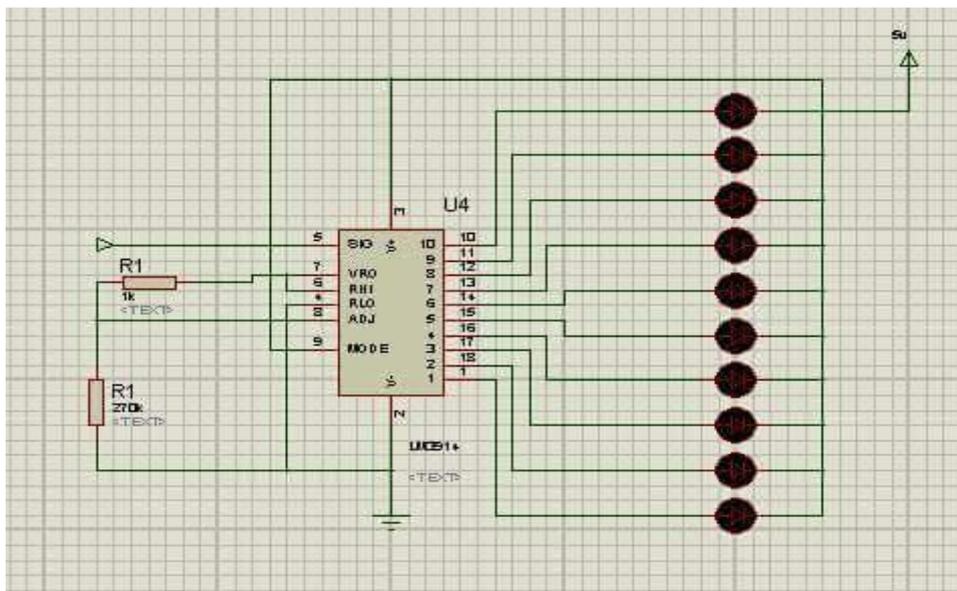


Figure 4.10 Afficheur à LEDs

Ce schéma d'application s'impose comme une évidence, puisqu'il permet de visualiser l'évolution de la tension d'entrée, celle-ci étant comprise entre 0 et 5 V (figure 4.10).

Voyons d'abord deux formules (4.10), (4.11). La première nous donne la valeur de la tension disponible broche 7 et la seconde donne la valeur du courant dans les LEDs, soit ici environ 10 mA qui est une valeur tout à fait suffisante.

$$v = 1.25 \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) \quad (4.10)$$

$$I_{led} = \frac{12.5}{R1} \quad (4.11)$$

Les bornes mini et maxi sont fixées à 0 V et 5 V, et le courant, et La broche 9 (mode select) permet d'avoir un affichage "bargraph" lorsqu'elle est reliée directement à la broche 3 (+V).

IV.4.2 Alarme audio :

Nous avons ajouté une alarme audio suite à une remarque de notre promoteur. Pour avoir une variation de son proportionnelle à la variation de la distance.

Cette section est centrée sur deux circuits intégrés le NE555 et LM386 (Figure 4.12/13).

IV.4.2.a Convertisseur tension fréquence :

Pour avoir une alarme audio, nous avons utilisé un haut parleur (voir la figure 4.11) commandé par des fréquences. La chose qui nous a poussé à ajouter un convertisseur tension fréquence (figure 4.12) qui va convertir la variation de la tension issue du capteur en une variation de fréquence.



Figure 4.11 : haut parleur utilisé dans le circuit

La tension amplifiée est appliquée à l'entrée du circuit intégré NE555 qui est un VCO (V oltage C ontrolled O scillateur, Oscillateur commandé en tension) pour assurer le fonctionnement de l'haute parleur[17].

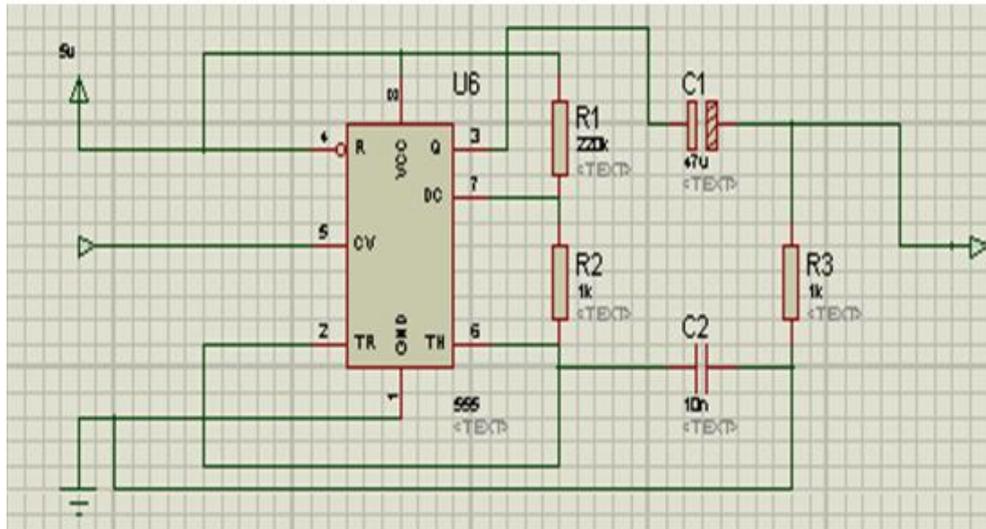


Figure 4.12 convertisseur tension fréquence

La tension continue de commande qui détermine la fréquence d'oscillation du circuit NE555, est appliquée sur sa broche 5.

Le signal de sortie est disponible sur la broche 3 du NE555, via un condensateur de liaison permettant de bloquer toute composante continue. La plage de fonctionnement en fréquence est fixée par la valeur donnée aux composants R1, R2 et C1.

IV.4.2.b Amplificateur audio :

Pour amplifier le son généré par l'haute parleur nous avons choisi le LM386 (voir la figure 4.13) qui se présente comme un petit circuit intégré à 8 pattes.

Il fonctionne sans radiateur (il ne chauffe pas suffisamment vu la faible puissance de cet ampli) et toutes ses pattes ne sont pas utilisées, capable d'activer physiquement un haut parleur de quelques centaines de mW, économique et facile à trouver.

Après avoir achevé la réalisation du détecteur de champs magnétique une phase de test est nécessaire pour s'assurer du bon fonctionnement du circuit.

Pour montrer le fonctionnement de haut parleur nous avons utilisé un oscilloscope pour traduire la variation du son généré par ce dernier sous forme des ondes.

Dés la mise sous tension, les LEDs sont éteintes et l'oscilloscope n'a rien affiché sur sa ligne de base.

En rapprochant l'aimant au détecteur, les LEDs s'allument l'une après l'autre en mode point et le son augmente (la fréquence augmente).

- **Distance de 0cm :**



Figure (4.14) : détection de 0 cm.

- **Distance de 1cm :**

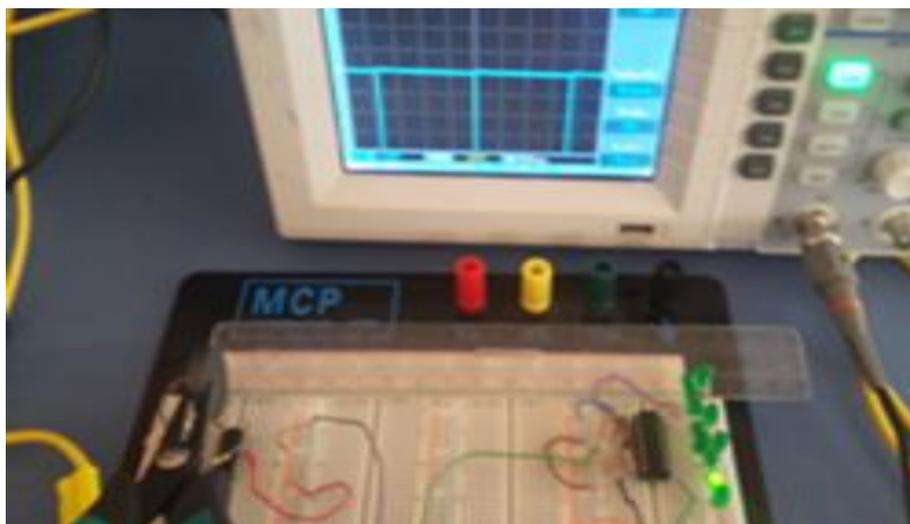


Figure (4.15) : détection de 1 cm.

- Distance de 3 cm :



Figure (4.16) : détection de 3 cm.

- Distance de 5cm :



Figure (4.17) : détection de 5 cm

- Distance de 7cm :



Figure (4.18) : détection de 7 cm

- Distance de 12 cm :



Figure (4.19) : détection de 12 cm

Le tableau suivant représente la variation de la tension en fonction de la distance :

LEDs	Tension	Distance détectée
LED1	0.55V	8 cm
LED2	1.1V	7 cm
LED3	1.65 V	6 cm
LED4	2.2V	5 cm
LED5	2.75V	4 cm
LED6	3.3V	3 cm
LED7	3.85V	2 cm
LED8	4.4V	1cm
LED9	4.95V	0 cm

Tableau 4.1 : représente la variation de la tension en fonction de la distance

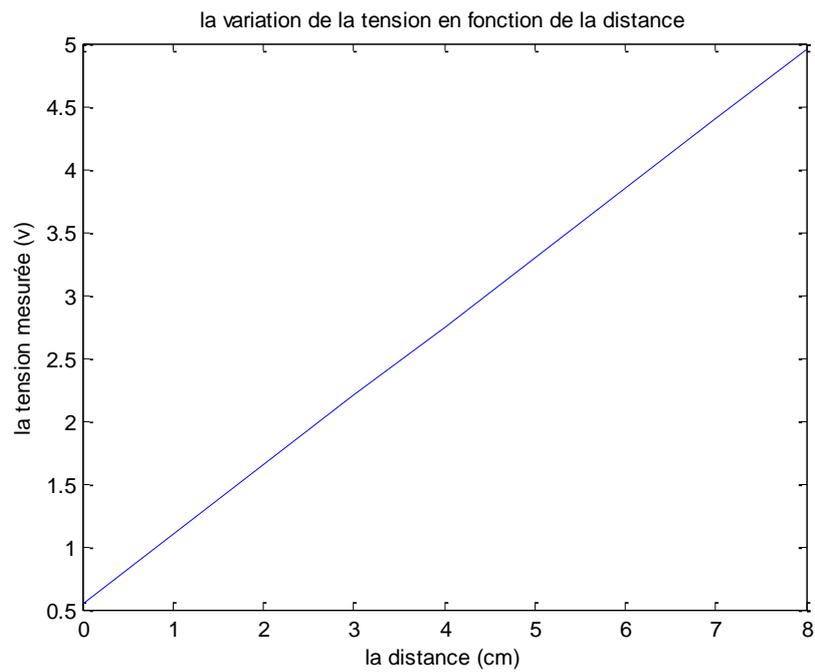


Figure 4.20 variation de la tension en fonction de la distance

Les résultats trouvés (figure 4.20) sont satisfaisants et le circuit fonctionne comme prévu, on conclue que le fonctionnement de notre détecteur est correct.

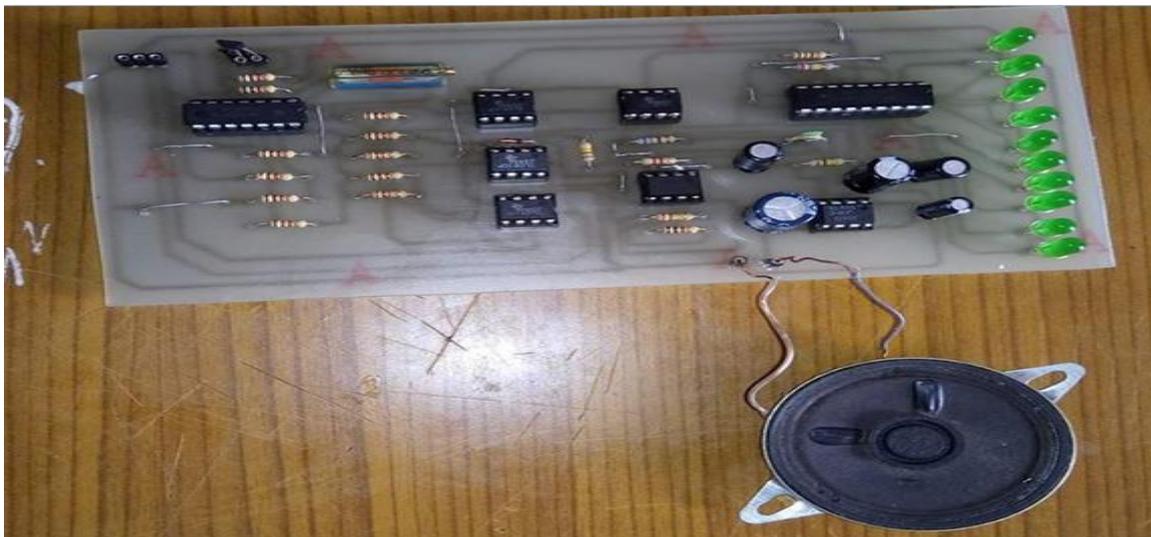


Figure 4.21 le circuit imprimé réalisé

IV.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons décrit le processus de la réalisation matériel de notre appareil, cette réalisation a été suivie d'une phase de validation et de test qui a donné des résultats satisfaisantes.

Finalement, nous constatons que le détecteur de champ magnétique que nous avons développé assure une bonne performance pour des mesures allant de 0 cm à 8 cm avec une intensité de champ magnétique relativement faible.

CONCLUSION

Le but de notre projet de fin d'études de Master en instrumentation Biomédicale était de concevoir et de réaliser un détecteur de champ magnétique en mettant en œuvre quelques bases d'électronique générale et par l'utilisation de capteurs adéquats (capteur à effet Hall) à cet effet.

Pour aborder ce travail, nous avons sélectionné le capteur approprié grâce à sa précision et à sa meilleure linéarité sur un large intervalle de valeurs mesurées et vérifiées. En suite nous avons réalisé les différentes parties de la chaîne de mesure constituant notre appareil :

- Source de tension.
- Capteur UGN3503U
- Etage de mise en forme (soustraction, linéarisation et amplification).
- Affichage

Le détecteur conçu gagnerait en précision et en étendue de mesure par l'utilisation de capteur de proximité professionnel et d'un amplificateur de gain plus important pour le cas de mesure de valeurs très réduites.

Notre détecteur une fois amélioré pourra ainsi détecter la présence de champ magnétique parasite pouvant nuire au bon fonctionnement des appareils biomédicaux utilisés.

Nous pouvons dire que ce modeste travail n'est pas une fin en soi mais pouvant servir et aider tous ceux qui seront intéressés par la détection de champ magnétique.

Les intérêts pratiques seront d'une utilité certaine et d'une grande importance dans divers domaines d'applications pratiques.

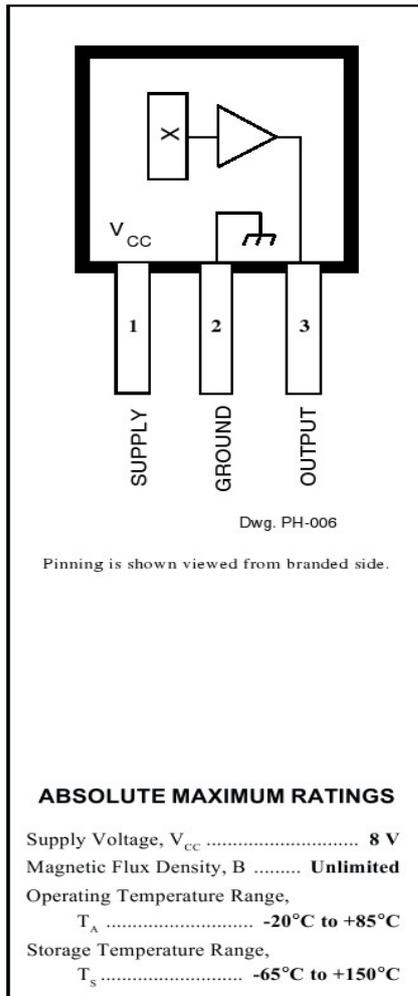
ANNAEXES

Annexe 1

3503

Data Sheet
27501B*

RATIOMETRIC, LINEAR HALL-EFFECT SENSORS



The UGN3503LT, UGN3503U, and UGN3503UA Hall-effect sensors accurately track extremely small changes in magnetic flux density—changes generally too small to operate Hall-effect switches.

As motion detectors, gear tooth sensors, and proximity detectors, they are magnetically driven mirrors of mechanical events. As sensitive monitors of electromagnets, they can effectively measure a system's performance with negligible system loading while providing isolation from contaminated and electrically noisy environments.

Each Hall-effect integrated circuit includes a Hall sensing element, linear amplifier, and emitter-follower output stage. Problems associated with handling tiny analog signals are minimized by having the Hall cell and amplifier on a single chip.

Three package styles provide a magnetically optimized package for most applications. Package suffix 'LT' is a miniature SOT-89/TO-243AA transistor package for surface-mount applications; suffix 'U' is a miniature three-lead plastic SIP, while 'UA' is a three-lead ultra-mini-SIP. All devices are rated for continuous operation over the temperature range of -20°C to +85°C.

FEATURES

- Extremely Sensitive
- Flat Response to 23 kHz
- Low-Noise Output
- 4.5 V to 6 V Operation
- Magnetically Optimized Package

Always order by complete part number, e.g., **UGN3503UA**.



Annexe 2

μA78L00 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

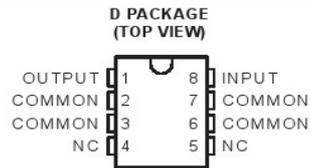
SLV5010I – JANUARY 1976 – REVISED JULY 1999

- 3-Terminal Regulators
- Output Current up to 100 mA
- No External Components
- Internal Thermal-Overload Protection
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Direct Replacements for Fairchild μA78L00 Series

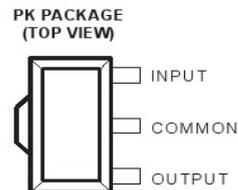
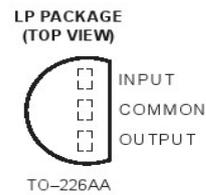
description

This series of fixed-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. In addition, they can be used with power-pass elements to make high-current voltage regulators. One of these regulators can deliver up to 100 mA of output current. The internal limiting and thermal-shutdown features of these regulators make them essentially immune to overload. When used as a replacement for a zener diode-resistor combination, an effective improvement in output impedance can be obtained, together with lower bias current.

The μA78L00C series is characterized for operation over the virtual junction temperature range of 0°C to 125°C.



NC – No internal connection



AVAILABLE OPTIONS

T _J	V _{O(NOM)} (V)	PACKAGED DEVICES						CHIP FORM (Y)
		SMALL OUTLINE (D)		PLASTIC CYLINDRICAL (LP)		SOT-89 (PK)		
		OUTPUT VOLTAGE TOLERANCE						
		5%	10%	5%	10%	5%	10%	
0°C to 125°C	2.6	μA78L02ACD	–	μA78L02ACLP	μA78L02CLP	μA78L02ACPK	μA78L02CPK	μA78L02Y
	5	μA78L05ACD	–	μA78L05ACLP	μA78L05CLP	μA78L05ACPK	μA78L05CPK	μA78L05Y
	6.2	μA78L06ACD	–	μA78L06ACLP	μA78L06CLP	μA78L06ACPK	μA78L06CPK	μA78L06Y
	8	μA78L08ACD	μA78L08CD	μA78L08ACLP	μA78L08CLP	μA78L08ACPK	μA78L08CPK	μA78L08Y
	9	μA78L09ACD	μA78L09CD	μA78L09ACLP	μA78L09CLP	μA78L09ACPK	μA78L09CPK	μA78L09Y
	10	μA78L10ACD	–	μA78L10ACLP	μA78L10CLP	μA78L10ACPK	μA78L10CPK	μA78L10Y
	12	μA78L12ACD	μA78L12CD	μA78L12ACLP	μA78L12CLP	μA78L12ACPK	μA78L12CPK	μA78L12Y
	15	μA78L15ACD	μA78L15CD	μA78L15ACLP	μA78L15CLP	μA78L15ACPK	μA78L15CPK	μA78L15Y

D and LP packages are available taped and reeled. Add the suffix R to the device type (e.g., μA78L05ACDR). The PK package is only available taped and reeled (e.g., μA78L02ACPKR). Chip forms are tested at T_A = 25°C.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

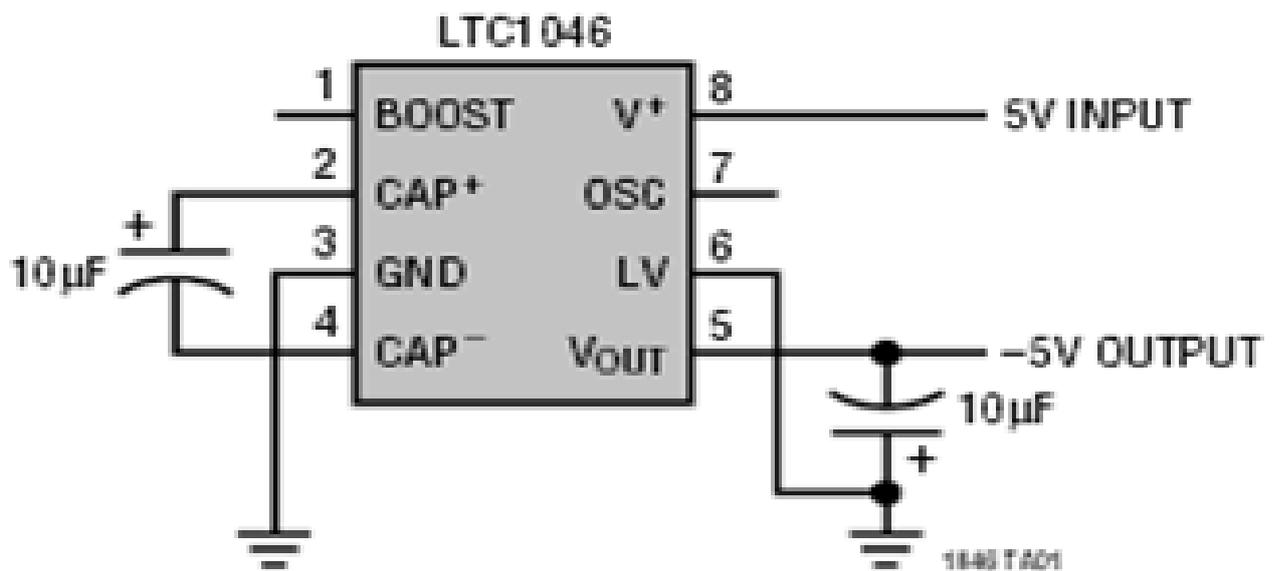
**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1999, Texas Instruments Incorporated

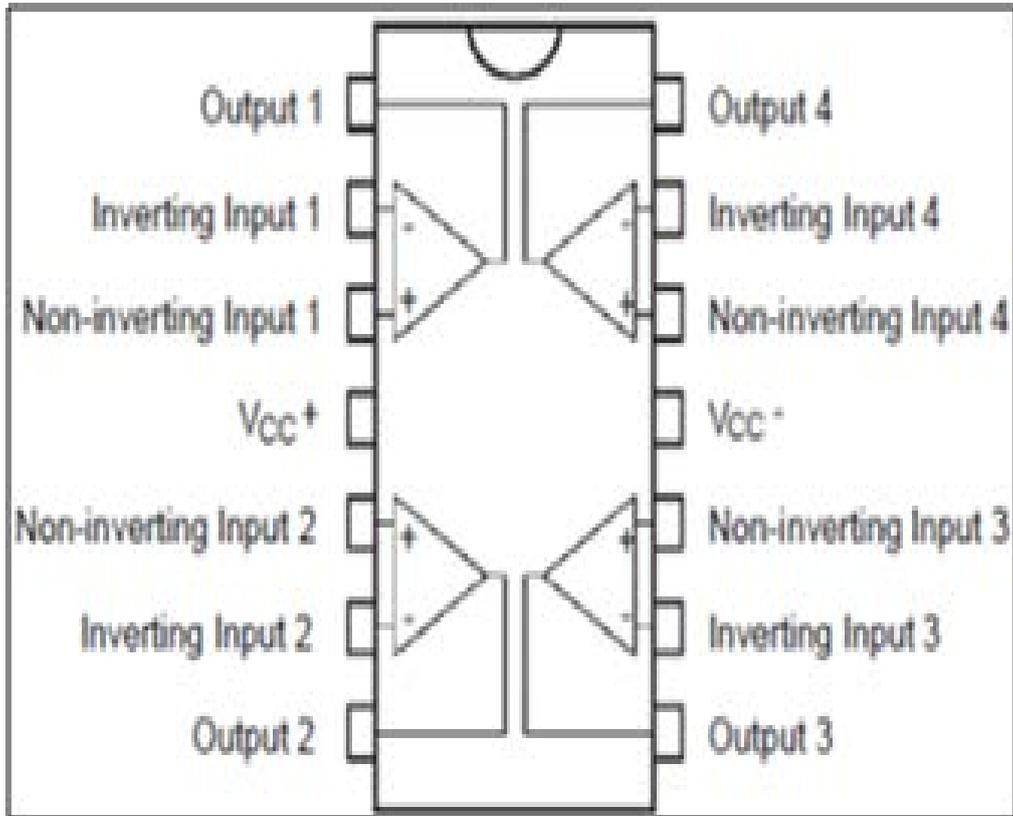
Annexe 3

Generating -5V from 5V



BROCHAGE DU CIRCUIT LTC1 046

Annexe 4



BROCHAGE DU CIRCUIT TL084

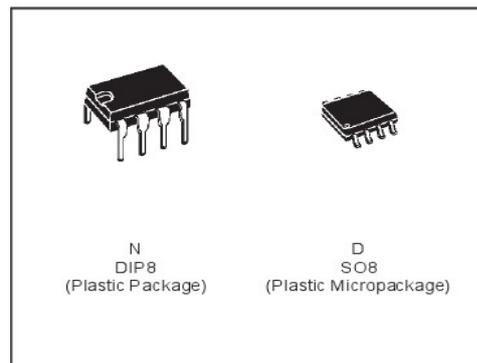
Annexe 5



TL081 TL081A - TL081B

GENERAL PURPOSE J-FET SINGLE OPERATIONAL AMPLIFIER

- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEWRATE : $16V/\mu s$ (typ)



DESCRIPTION

The TL081, TL081A and TL081B are high speed J-FET input single operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

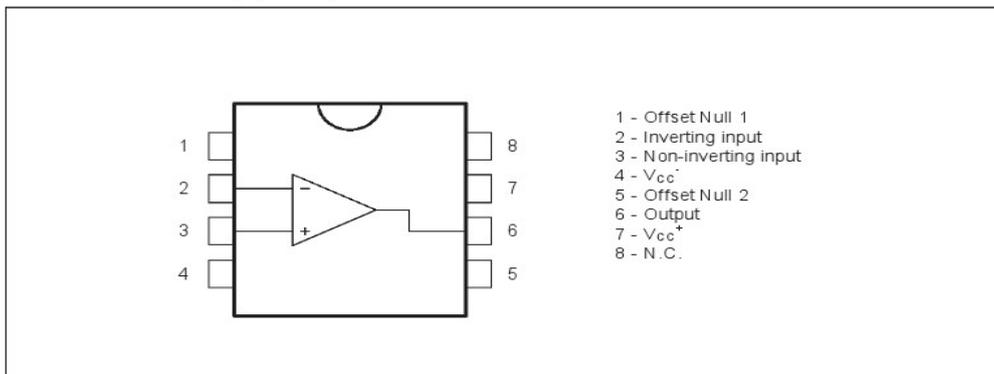
The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

ORDER CODES

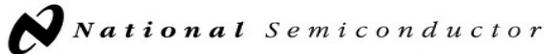
Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
TL081M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•
TL081I/AI/BI	-40°C, +105°C	•	•
TL081C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•

Examples : TL081CD, TL081IN

PIN CONNECTIONS (top view)



Annexe 6



January 2000

LM3914 Dot/Bar Display Driver

LM3914 Dot/Bar Display Driver

General Description

The LM3914 is a monolithic integrated circuit that senses analog voltage levels and drives 10 LEDs, providing a linear analog display. A single pin changes the display from a moving dot to a bar graph. Current drive to the LEDs is regulated and programmable, eliminating the need for resistors. This feature is one that allows operation of the whole system from less than 3V.

The circuit contains its own adjustable reference and accurate 10-step voltage divider. The low-bias-current input buffer accepts signals down to ground, or V^- , yet needs no protection against inputs of 35V above or below ground. The buffer drives 10 individual comparators referenced to the precision divider. Indication non-linearity can thus be held typically to $\frac{1}{2}\%$, even over a wide temperature range.

Versatility was designed into the LM3914 so that controller, visual alarm, and expanded scale functions are easily added on to the display system. The circuit can drive LEDs of many colors, or low-current incandescent lamps. Many LM3914s can be "chained" to form displays of 20 to over 100 segments. Both ends of the voltage divider are externally available so that 2 drivers can be made into a zero-center meter.

The LM3914 is very easy to apply as an analog meter circuit. A 1.2V full-scale meter requires only 1 resistor and a single 3V to 15V supply in addition to the 10 display LEDs. If the 1 resistor is a pot, it becomes the LED brightness control. The simplified block diagram illustrates this extremely simple external circuitry.

When in the dot mode, there is a small amount of overlap or "fade" (about 1 mV) between segments. This assures that at no time will all LEDs be "OFF", and thus any ambiguous display is avoided. Various novel displays are possible.

Much of the display flexibility derives from the fact that all outputs are individual, DC regulated currents. Various effects can be achieved by modulating these currents. The individual outputs can drive a transistor as well as a LED at the same time, so controller functions including "staging" control can be performed. The LM3914 can also act as a programmer, or sequencer.

The LM3914 is rated for operation from 0°C to +70°C. The LM3914N-1 is available in an 18-lead molded (N) package.

The following typical application illustrates adjusting of the reference to a desired value, and proper grounding for accurate operation, and avoiding oscillations.

Features

- Drives LEDs, LCDs or vacuum fluorescents
- Bar or dot display mode externally selectable by user
- Expandable to displays of 100 steps
- Internal voltage reference from 1.2V to 12V
- Operates with single supply of less than 3V
- Inputs operate down to ground
- Output current programmable from 2 mA to 30 mA
- No multiplex switching or interaction between outputs
- Input withstands $\pm 35V$ without damage or false outputs
- LED driver outputs are current regulated, open-collectors
- Outputs can interface with TTL or CMOS logic
- The internal 10-step divider is floating and can be referenced to a wide range of voltages

Annexe 7



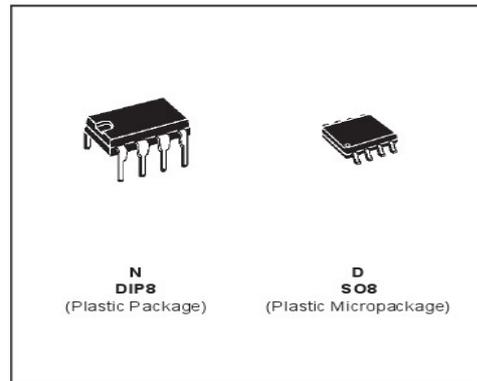
NE555
SA555 - SE555

GENERAL PURPOSE SINGLE BIPOLAR TIMERS

- LOW TURN OFF TIME
- MAXIMUM OPERATING FREQUENCY GREATER THAN 500kHz
- TIMING FROM MICROSECONDS TO HOURS
- OPERATES IN BOTH ASTABLE AND MONOSTABLE MODES
- HIGH OUTPUT CURRENT CAN SOURCE OR SINK 200mA
- ADJUSTABLE DUTY CYCLE
- TTL COMPATIBLE
- TEMPERATURE STABILITY OF 0.005% PER°C

DESCRIPTION

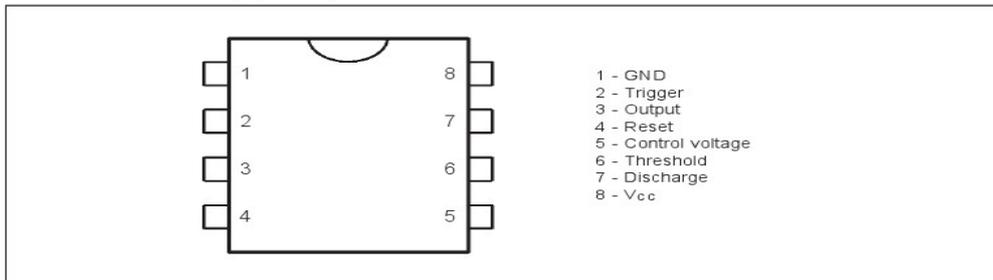
The NE555 monolithic timing circuit is a highly stable controller capable of producing accurate time delays or oscillation. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For a stable operation as an oscillator, the free running frequency and the duty cycle are both accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output structure can source or sink up to 200mA. The NE555 is available in plastic and ceramic minidip package and in a 8-lead micropackage and in metal can package version.



ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
NE555	0°C, 70°C	•	•
SA555	-40°C, 105°C	•	•
SE555	-55°C, 125°C	•	•

PIN CONNECTIONS (top view)



Annexe 8

TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B TL082Y, TL084, TL084A, TL084B, TL084Y JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS081E – FEBRUARY 1977 – REVISED FEBRUARY 1999

- Low Power Consumption
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Input Bias and Offset Currents
- Output Short-Circuit Protection
- Low Total Harmonic Distortion . . . 0.003% Typ
- High Input Impedance . . . JFET-Input Stage
- Latch-Up-Free Operation
- High Slew Rate . . . 13 V/μs Typ
- Common-Mode Input Voltage Range Includes V_{CC+}

description

The TL08x JFET-input operational amplifier family is designed to offer a wider selection than any previously developed operational amplifier family. Each of these JFET-input operational amplifiers incorporates well-matched, high-voltage JFET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit. The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient. Offset adjustment and external compensation options are available within the TL08x family.

The C-suffix devices are characterized for operation from 0°C to 70°C. The I-suffix devices are characterized for operation from –40°C to 85°C. The Q-suffix devices are characterized for operation from –40°C to 125°C. The M-suffix devices are characterized for operation over the full military temperature range of –55°C to 125°C.

symbols



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

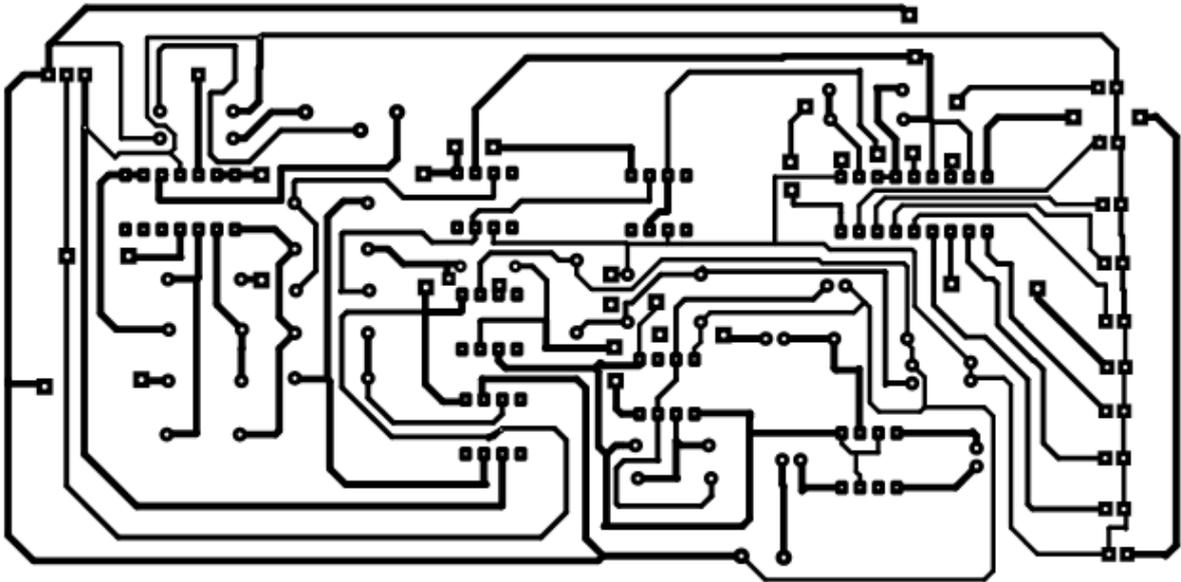
PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1999, Texas Instruments Incorporated
On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Annexe 9



Circuit imprimé

Annexe 10

Capteur à effet Hall UGN3503U

```
p5=[0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 ];
v5=[4.7 4.5 4.3 4.1 3.9 3.7 3.6 3.4 3.3 3.2 3.1 3 3 3 2.9 2.9 2.8 2.7 ];
%moindre carré
p=[0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 ];
v=[4.7 4.5 4.3 4.1 3.9 3.7 3.6 3.4 3.3 3.2 ];
n=10;
p1=(1/n).*sum(p);
v1=(1/n).*sum(v);
a=sum((p-p1).*(v-v1))/sum((p-p1).^2);
b=v1-(a.*p1);
Dc=(a.*p)+b;

plot(p,Dc,'b');hold on
plot(p5,v5,'k.-')

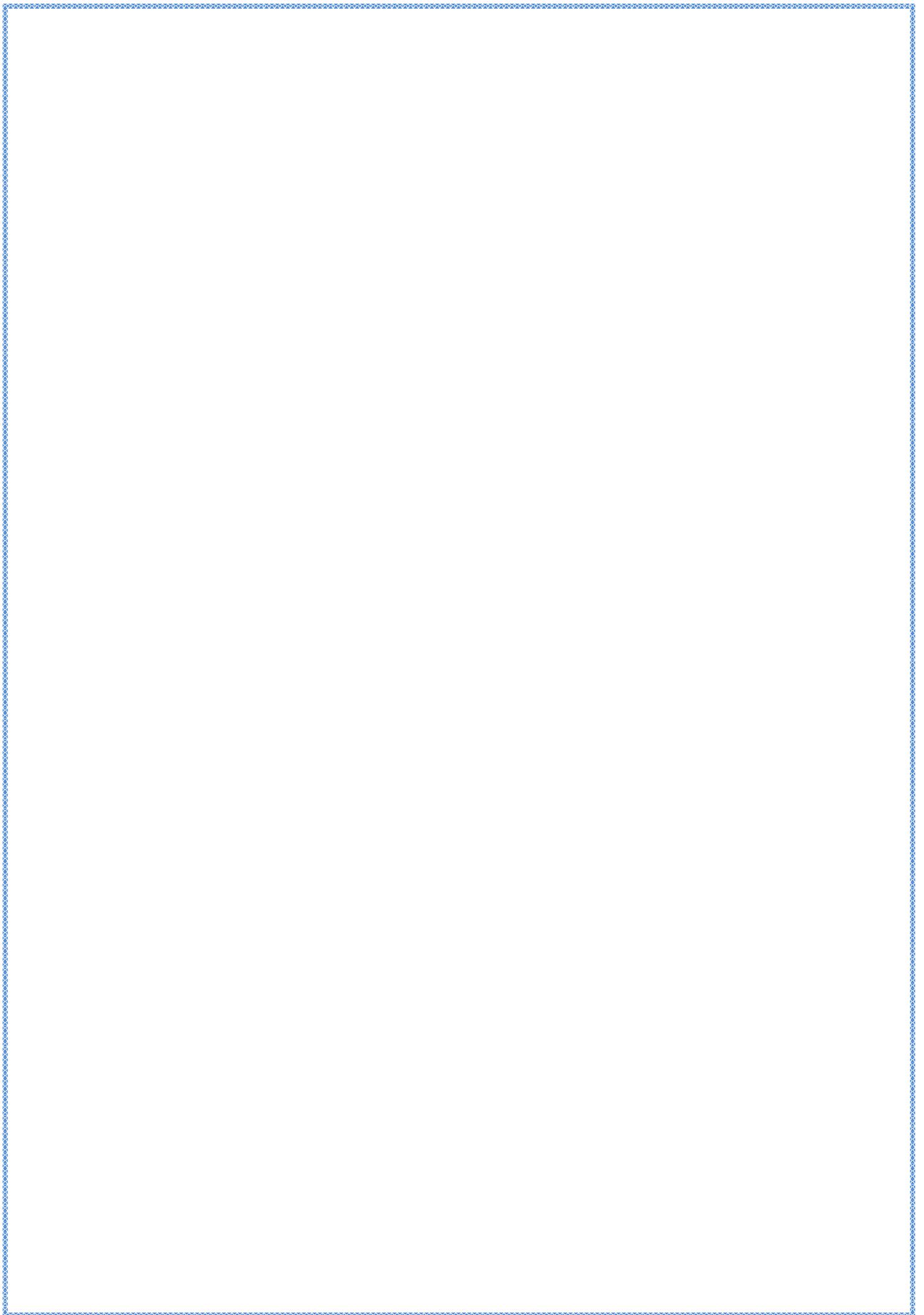
legend('v=f(p)', 'Dc', 'Location', 'northwest')
grid on
xlabel('distance(cm)'); ylabel('la tension(v)'); title('la courbe de v en
fonction de d sur l\'intervalle utile.')
```

Bobine de 100 spires

```
p5=[0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 ];
v5=[2.35 2.09 1.63 1.44 0.98 0.63 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ];
%moindre carré
p=[0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 ];
v=[2.35 2.09 1.63 1.44 0.98 0.63 0];
n=7;
p1=(1/n).*sum(p);
v1=(1/n).*sum(v);
a=sum((p-p1).*(v-v1))/sum((p-p1).^2);
b=v1-(a.*p1);
Dc=(a.*p)+b;

plot(p,Dc,'b');hold on
plot(p5,v5,'k.-')

legend('v=f(p)', 'Dc', 'Location', 'northwest')
grid on
xlabel('distance(cm)'); ylabel('la tension(v)'); title('la courbe de v en
fonction de d sur l\'intervalle utile.')
```



BIBLIOGRAPHIE :

- [1] Olivier français. Capteurs et électronique associée. ESIEE-(2000)
http://www.esiee.fr/~fracαιο/enseignement/version_pdf/II_capteurs.pdf
- [2] G. Asch et collaborateurs. Acquisition de données, du capteur à l'ordinateur. Edition Dunod
<http://eduscol.education.fr/sti/si-ens-cachan/>
- [3] Christian BISSIERES « Physique Appliquée » TS IRIS (2001)
<http://cbissprof.free.fr>
- [4] «Chapitre 9 : Les ALI En Mode Non Linéaire»
<http://ashido.free.fr/Electronique-facile:Chapitre-9.php>
- [5] Mr Mekdad.A et Mr Zenasni.H «Conception et réalisation d'un régulateur de température»
(Pfe) Dirigé par : Mr Boussaid.A (2003-2004)
- [6] ESIEE- Olivier Français « capteur et électronique associée » Olivier Français 2000.
- [7] Philippe Meyne – 2008/09
philippe.meyne@univ-paris12.fr – 2008/09
- [8] Forst and Sulliran, 'World magnetic sensor composants and modules/ market report',
<http://www.forst.com/prod/serlvvet/report-brochure.pag.2006>
- [9] E.H, 'on a new action of magnet and electric current', American Journal of mathematics, vol1, pp 287-292, 1879
- [10] P.Poulichet, 'Etude des capteurs magnétiques',
http://www.esiee.fr/poulichp/magnetique/Capt_Magnetique.html
- [11] F.Fiorillo et F.Mazaleyrat : principe et production des champs magnétiques. Numéro D 1 504. Techniques de l'ingénieur, 2000.

[12] G.Malinowski, 'Transport dépendant du spin et couplage d'échange : de la jonction tunnel au capteur magnétique intégré', thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy, 2004, pp 6-9.

[13] F.GAYRAL, ' INTERFACE SIGMA-DELTA AVANCEES POUR CAPEUR DE CHAMP MAGNETIQUE', thèse de doctorat, ECOLE CENTRALE DE LYON, 2007.

[14] Dr Y. KEBBETI, 'Capteurs magnétiques pour applications spatiales', CNRS.

[15] Calcul du champ électromagnétique rayonné par un Coup de foudre à l'aide du modèle du courant de foudre de type électromagnétique AT. Mme. BAGHLI Houria2011

[16] <https://fr.scribd.com/document/344719684/lektronik>

[17] https://www.sonelec-musique.com/electronique_realisations_vco_002.html

[18] Travaux pratiques d'électricité et d'électronique, mme ahlam guen bouazza mr benyounes bouazza mr djamel lachachi tlemcen le 04- 04-2011