

REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département d'Electronique

Rapport

Projet de Fin de Cycle (PFC)

MCIL 3

FILIERE : Électronique

Spécialité : Électronique industriel

Par

- **Ziad Bouzerara**
- **Segouat Wassim**
- **Amoura Islam**

Intitulé

Conception et élaboration d'un détecteur de métaux à base d'Arduino

Présenté le :

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>Mr. FLISSI Mustapha</i>	<i>MCA</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mme. BIOUD Nadhira</i>	<i>MCA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mr. BOUTAHAR Lotfi</i>	<i>Doctorant</i>	<i>Co-encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mr. ABED Tarek</i>	<i>MAA</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné la force et le courage d'entreprendre cet humble acte qui nous a permis de vivre une belle expérience.

Nous tenons à remercier nos encadrants, M. BOUTAHER Lotfi et M^{me} BIOUD Nadhira, pour le suivi de nos travaux et pour les encouragements continus qu'il n'a cessé de nous prodiguer tout au long de ces travaux.

Après cela, nous adressons nos chaleureux remerciements aux enseignants du Département d'électronique et aux étudiants de l'Institut d'électronique industrielle, sans exception, pour leur coopération et leur communication au cours de cette année.

Nous adressons nos chaleureux remerciements au Dr Idris Masoudan pour les efforts déployés au profit de l'institut et de ses étudiants

Nous tenons à dire un grand merci à nos familles et à nos proches pour leur soutien et leurs encouragements.

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements aux correcteurs de ce mémoire.

Enfin, un grand merci à tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à la réalisation de cet humble travail.

Dédicaces

Je dédie cet humble travail à :

À mes chers parents et grands-parents, aucune dévotion ne peut exprimer mes sentiments sincères, pour leur patience sans bornes, leurs encouragements constants et leur aide, en témoignage de mon profond amour et de mon respect pour leur grand sacrifice.

A mon Frère et ma sœur

Aymen, Maram

À mes amis : Rida Bouaafia, Aissa Atma, Dr. Ali Zinelaabidine Hed-Messaoud.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à rendre ce travail possible, je dis merci.

(Wassim Segouat)

Dédicaces

Je dédie cet humble travail à :

À mes chers parents, aucune dévotion ne peut exprimer mes sentiments sincères, pour leur patience sans bornes, leurs encouragements constants et leur aide, en témoignage de mon profond amour et de mon respect pour leur grand sacrifice.

A mes Frère et ma sœur

Mouhssen, Yassine, Yousra

À mes amis : Rida Bouaafia, Aissa Atma, Dr. Ali Zinelaabidine Hed-Messaoud.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à rendre ce travail possible, je dis merci.

(Islam Amoura)

Dédicaces

Je dédie cet humble travail à :

À mes chers parents, aucune dévotion ne peut exprimer mes sentiments sincères, pour leur patience sans bornes, leurs encouragements constants et leur aide, en témoignage de mon profond amour et de mon respect pour leur grand sacrifice.

A mon frère Haithem que Dieu ait pitié de lui.

A mon frère, Abed El Wakil.

A mes chères sœurs Bouthaina, Batoul et Douaa.

A mon grand-père, ma grand-mère, mes oncles et tantes, et ma famille à Bouzerara et Boukachabia et Bouzewata et Bouhnache.

À mes amis : Haithem Mekideche, Chihab Sahli et Muhammed al-Amin Sghier et Raid Bounaas et Louay Bouzerara.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à rendre ce travail possible, je dis merci.

(Ziad Bouzerara)

Table des matières

	Page
Introduction générale	1
Chapitre I : Principes physiques de la détection des métaux	
I.1 Introduction	2
I.2 Détecteur de métaux	2
I.3 Principes physiques de la détection des métaux	3
I.3.1 Induction électromagnétique	3
I.3.1.1 Définition	3
I.3.1.2 Équation mathématique	3
I.3.1.3 Application dans les détecteurs de métaux	4
I.3.2 Effet du champ magnétique	5
I.3.2.1 Définition	5
I.3.2.2 Courants de Foucault	6
I.3.2.3 Équation mathématique	6
I.3.2.4 Application dans la détection des métaux	7
I.3.3 Effet Doppler	8
I.3.3.1 Définition	8
I.3.3.2 Équation mathématique	9
I.3.3.3 Application pour un détecteur de métaux	9
I.3.4 Résistivité électrique	10
I.3.4.1 Définition	10
I.3.4.2 Résistivité dans les différents métaux	10
I.3.4.3 Formule de la résistivité électrique	11
I.3.5 Magnétométrie	11
I.3.5.1 Définition	11
I.3.5.2 Magnétométrie dans le domaine de la détection des métaux	12
I.3.6 Capacitance	14
I.3.6.1 Définition	14
I.3.6.2 Formule de la capacité	14
I.3.6.3 Application dans un détecteur de métaux	15
I.4 Types de détecteurs de métaux commercialisés	15
I.4.1 Détecteurs de métaux à induction pulsée (PI)	16
I.4.2 Détecteurs de métaux à induction continue (VLF)	16
I.4.3 Détecteurs de métaux statiques	16
I.4.4 Détecteurs de métaux à transmission à tension nulle (ZVT)	16
I.4.5 Détecteurs de métaux à piézoélectricité	16
I.5 Conclusion	16
Chapitre II : Réalisation Pratique	
II.1 Introduction	18
II.2 Composants utilisés	18
II.3 Caractéristiques des principaux éléments électroniques	20
II.3.1 Arduino Nano	20

II.3.2 LCD 16x02	20
II.3.3 I2C	20
II.3.4 Arduino IDE	21
II.3.5 Proteus	22
II.3.6 DC power jack	23
II.3.7 Battery Management System (BMS)	23
II.4 Fonctionnement d'un détecteur de métaux	24
II.5 Schéma synoptique et câblage	26
II.6 Explication du fonctionnement	28
II.7 Expérience et résultats	29
II.8 Conclusion	29
Conclusion générale	31
Références bibliographique	
Résumé	

Liste des figures

	Page
Chapitre I : Principes physique de la détection des métaux	
Figure I.1 : deux différents types des détecteurs de métaux.	2
Figure I.2 : schéma de base de détection de métaux par induction pulsée.	5
Figure I.3 : Représentation de la génération de courants de Foucault par une bobine inductrice.	6
Figure I.4 : Graphique de réponse d'induction d'impulsion pour différentes cibles.	8
Figure I.5 : Cylindre régulier de longueur L et de surface de section A.	11
Figure I.6 : Champ magnétique d'un solénoïde.	12
Figure I.7 : Pièce répondant au champ magnétique de la bobine.	13
Figure I.8 : Disposition simple des bobines dans un détecteur de métaux.	14
Figure I.9 : Schéma du condensateur à plaques parallèles.	15
Chapitre II : Réalisation Pratique	
Figure II.1 : Interface utilisateur Arduino IDE.	22
Figure II.2 : Interface utilisateur Proteus.	23
Figure II.3 : Photo des quatre bobines utilisées.	25
Figure II.4 : Simulation du projet en Proteus.	27
Figure II.5 : Réalisation du détecteur de métaux produit fini.	29
Figure II.6 : détecteur de métaux en test.	30

Liste des tableaux

	Page
Chapitre II : Réalisation Pratique	
Tableau II.1 : Composants utilisés dans la réalisation.	19
Tableau II.2 : Caractéristiques des 4 bobines utilisées séparément.	26
Tableau II.3 : Distance de sensibilité pour 4 Bobines utilisées séparément.	29

Introduction générale

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INRODUCTION GÉNÉRALE

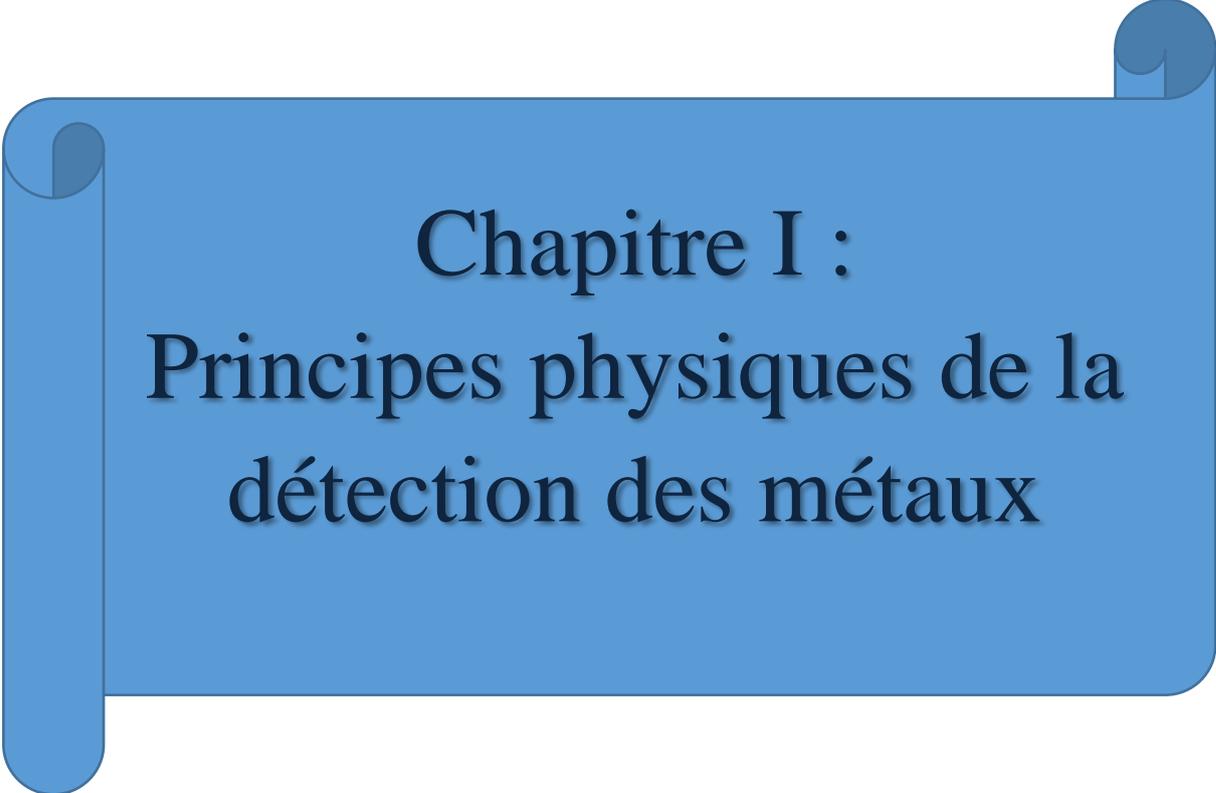
Le présent mémoire synthétise la conception et l'élaboration d'un détecteur de métaux à base d'Arduino.

Le capteur de notre projet est une bobine qui subit une variation de l'inductance en détectant un métal. Notre système est commandé par une carte Arduino nano qui traite le signal capté par la bobine.

Notre dispositif comporte une diode électroluminescente et un buzzer qui informent l'utilisateur sur la présence d'un métal que ce soit ferromagnétique ou paramagnétique.

Ce manuscrit se décompose en deux parties :

- La première est consacrée à la présentation des différents phénomènes physiques qui sont à la base des principes de fonctionnement des détecteurs de métaux disponibles dans le marché, tels que : la variation du champ magnétique et du champ électromagnétique, l'effet Doppler, aussi la variation de la capacité et la résistivité.
- La seconde partie présente les étapes suivies pour la réalisation du projet, en procédant par le choix des composants nécessaires à l'élaboration, la simulation, le câblage, la programmation et enfin les essais pratiques.

A blue graphic element resembling a scroll, with a vertical strip on the left side and a horizontal strip on the right side, both with rounded ends. The text is centered within the horizontal strip.

Chapitre I :
Principes physiques de la
détection des métaux

I.1 Introduction

Des fouilles archéologiques aux points de contrôle de sécurité des aéroports, la détection des métaux est une méthode largement utilisée pour localiser et identifier les objets métalliques. La méthode est basée sur un certain nombre de théories physiques, y compris l'induction électromagnétique, le champ magnétique, l'effet Doppler, la capacité, la résistance électrique et la magnétométrie.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différents phénomènes physiques qui constituent le principe de base du fonctionnement des détecteurs de métaux.

I.2 Détecteur de métaux

Les détecteurs de métaux sont des appareils électroniques conçus pour détecter la présence de métaux enfouis sous terre ou cachés dans d'autres matériaux. Ils fonctionnent en utilisant des champs électromagnétiques pour générer un signal qui passe par une bobine de détection située à la base du détecteur. Lorsqu'une onde électromagnétique frappe un métal, un courant électrique traverse le métal et un champ magnétique est généré. Le détecteur de métaux détecte ce champ magnétique et signale la présence de métal. Les détecteurs de métaux sont utilisés dans diverses applications, notamment la chasse au trésor, l'archéologie, le contrôle de sécurité et les applications industrielles [1].



Figure I.1 : Deux différents types des détecteurs de métaux.

I.3 Principes physiques de la détection des métaux

I.3.1 Induction électromagnétique

I.3.1.1 Définition

L'induction électromagnétique est un mécanisme basé sur la loi de Faraday selon laquelle une variation du champ magnétique génère un champ électrique, qui à son tour génère une force électromotrice dans une boucle conductrice fermée. Ce mécanisme est au cœur de plusieurs technologies majeures, notamment les générateurs, les transformateurs et les moteurs.

I.3.1.2 Équation mathématique

La loi d'induction de Faraday stipule que la force induite dans un circuit est proportionnelle à la vitesse de variation du flux magnétique à travers le circuit. Elle peut être expliquée mathématiquement comme suit :

$$EMF = \frac{-d\varphi}{dt} \quad (I.1)$$

EMF : La force électromotrice induite dans le circuit

φ : Le flux magnétique à travers le circuit

$\frac{d\varphi}{dt}$: Le taux de variation du flux magnétique dans le temps.

Le signe négatif dans cette équation indique que la direction de la FEM induite est telle qu'elle s'oppose à la variation du flux magnétique qui la produit, conformément à la loi de Lenz.

Le flux magnétique φ est donné par le produit du champ magnétique B et de la surface A qu'il traverse, c'est-à-dire :

$$\varphi = B \times A \quad (I.2)$$

B : Le champ magnétique

A : La zone qu'il traverse.

Si le champ magnétique et/ou la surface change avec le temps, alors le taux de variation du flux magnétique avec le temps est donné par :

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{d(B \times A)}{dt} = \frac{A \times dB}{dt} + \frac{B \times dA}{dt} \quad (I.3)$$

Où : $\frac{dB}{dt}$ et $\frac{dA}{dt}$ sont les taux de variation du champ magnétique et de la surface en fonction du temps, respectivement.

En substituant cette expression pour $\frac{d\varphi}{dt}$ dans la loi de Faraday, nous obtenons :

$$EMF = -A \left(\frac{dB}{dt} \right) - B \left(\frac{dA}{dt} \right) \quad (I.4)$$

Cette expression montre que la FEM induite est affectée par le taux de variation du champ magnétique et/ou de la surface, et qu'elle est proportionnelle à la surface du circuit. C'est la base théorique de l'utilisation de l'induction électromagnétique dans diverses applications, y compris les détecteurs de métaux.

I.3.1.3 Application dans les détecteurs de métaux [2]

Un détecteur de métaux classique se compose de trois éléments principaux : une bobine réceptrice, une bobine émettrice et un boîtier de commande. La bobine émettrice est souvent installée dans la tête de recherche du détecteur de métaux et est reliée à un oscillateur à haute fréquence, qui génère un courant alternatif (AC) à travers la bobine. La fréquence de ce courant peut varier en fonction du type de détecteur de métaux et de son application.

Lorsque le courant alternatif traverse la bobine, un champ magnétique alternatif est généré autour de la bobine. Ce champ magnétique génère également un courant alternatif dans les conducteurs voisins, tels que les métaux. Ce courant génère son propre champ magnétique qui s'oppose au champ magnétique d'origine. La bobine du récepteur, qui se trouve également à la tête de la détection, est perpendiculaire à la bobine émettrice. Le réceptacle est relié à un circuit qui amplifie la tension générée dans le réacteur par le champ magnétique changeant créé par le conducteur.

Lorsqu'un objet se trouve à proximité du détecteur de métaux, les variations du champ magnétique généré par l'objet produisent un champ magnétique alternatif dans la bobine réceptrice. Ce champ électromagnétique génère une tension au niveau de la bobine réceptrice, qui est captée par le circuit du détecteur de métaux. Ce signal est traité par le circuit et avertit l'opérateur de la présence d'éléments métalliques par un signal visuel et/ou sonore.

Le boîtier de commande du détecteur de métaux comporte plusieurs composants, dont l'alimentation électrique, le circuit d'oscillation et le circuit de traitement des signaux. L'oscillateur génère le courant alternatif qui traverse la bobine émettrice, et le circuit de traitement des signaux amplifie et analyse le signal reçu par la bobine réceptrice.

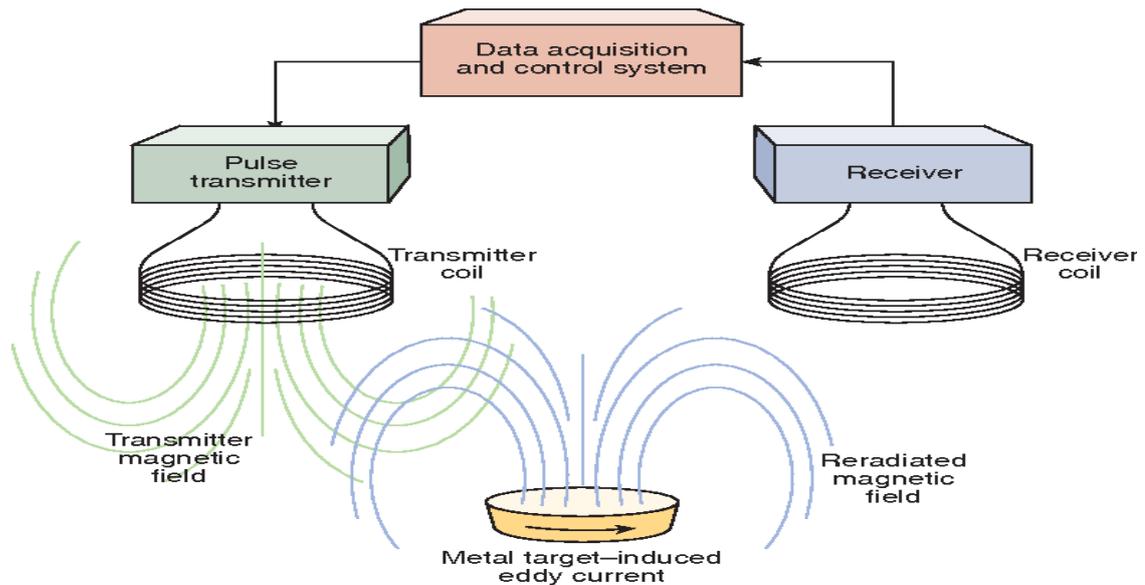


Figure I.2 : Schéma de base de détection de métaux par induction pulsée.

Les détecteurs de métaux utilisent le principe de l'induction électromagnétique pour détecter la présence de conducteurs tels que le métal. Un détecteur de métaux peut alerter l'utilisateur de la présence d'objets métalliques à proximité en générant un champ magnétique alternatif à l'aide de la bobine émettrice et en mesurant les variations du champ magnétique à l'aide de la bobine réceptrice. La force et la rapidité du signal peuvent également fournir des informations sur la taille, la forme et la distance de l'objet par le détecteur.

I.3.2 Effet du champ magnétique

I.3.2.1 Définition [3]

Les champs magnétiques, également appelés champs vectoriels, agissent sur les charges, les corps magnétiques et les courants en mouvement, les obligeant à se déplacer le long de trajectoires circulaires ou hélicoïdales. Une particule chargée subit une force normalisée en fonction de sa propre vitesse et du champ magnétique. Le champ magnétique

est représenté mathématiquement par un vecteur de direction et d'amplitude, désigné par le symbole B ou H . Deux vecteurs différents de densité de flux magnétique et d'intensité de champ magnétique, désignés par B et H , peuvent être utilisés pour représenter le champ magnétique.

I.3.2.2 Courants de Foucault

Courants de Foucault est un courant circulaire généré dans un matériau conducteur en modifiant le champ magnétique. Lorsqu'un champ magnétique se déplace par rapport à un conducteur, ou lorsque le conducteur est soumis à une variation du champ magnétique, il produit un flux d'électricité dans le conducteur. Cela crée une boucle de courant circulaire (Figure I.3).

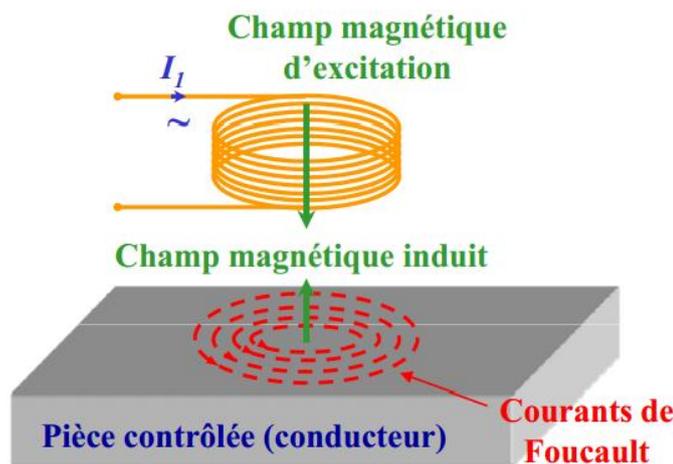


Figure I.3 : Représentation de la génération de courants de Foucault par une bobine inductrice.

Ces courants circulaires, qui peuvent être détectés et mesurés, sont appelés courants de Foucault. La détection des métaux, les essais non destructifs et le chauffage par induction ne sont que quelques-unes des applications où les courants de Foucault sont utilisés.

I.3.2.3 Équation mathématique

L'équation mathématique de l'effet du champ magnétique est donnée par la loi de force de Lorentz : [4]

$$F = q(V \times B) \quad (I.5)$$

F : la force subie par une particule chargée,

q : la charge de la particule,

V : Vecteur vitesse

B : Vecteur champ magnétique.

La force agissant sur une particule est toujours normalisée par rapport à son vecteur vitesse et au vecteur champ magnétique, et l'ampleur de la force dépend de l'intensité du champ magnétique et de la composante de la vectrice vitesse qui est normalisée par rapport au vecteur champ magnétique. La loi de Lorenz décrit la trajectoire courbe ou circulaire d'une particule chargée se déplaçant dans un champ magnétique, et le rayon de la trajectoire circulaire peut être calculé en équilibrant les forces magnétiques et centripètes.

L'équation (I.6) montre que la longueur d'onde d'une trajectoire circulaire est directement proportionnelle à sa vitesse et à sa masse, et inversement proportionnelle à sa charge et à l'intensité de son champ magnétique.

$$r = \left(\frac{mv}{qB} \right) \quad (\text{I.6})$$

r : Longueur d'onde; m : Masse ; v : Vitesse ; q : charge ; B : vecteur champ magnétique

I.3.2.4 Application dans la détection des métaux

L'effet de champ magnétique peut être appliqué à la détection des métaux par un processus connu sous le nom d'induction magnétique. Lorsqu'un champ magnétique est appliqué à un conducteur, il provoque la circulation d'un courant à travers le matériau. Ce courant génère son propre champ magnétique, qui peut être détecté par un capteur magnétique.

En règle générale, un capteur magnétique permet de détecter la présence d'objets métalliques en mesure les variations du champ magnétique qui les entoure. Lorsqu'un élément métallique entre en contact avec un capteur magnétique, il provoque une variation du champ magnétique qui peut être détectée. Cette méthode est utilisée dans les détecteurs de métaux, qui sont généralement utilisés dans les contrôles de sécurité pour détecter des armes ou d'autres objets métalliques.

En pratique, il existe plusieurs types de détecteur de métaux qui utilisent l'effet de champ magnétique. Certains détecteurs de métaux utilisent une simple bobine de fil qui crée un champ

magnétique lorsqu'elle est parcourue par un courant électrique. Lorsqu'un objet métallique est approché de la bobine, il modifie le champ magnétique, qui est détecté par le détecteur de métaux.

Les autres types de détecteurs de métaux utilisent deux bobines de fil, l'une pour créer un champ magnétique et l'autre pour détecter les variations du champ magnétique causées par la présence d'un objet métallique. Ce type de détecteur de métaux est appelé détecteur "PI" ou "à inductif

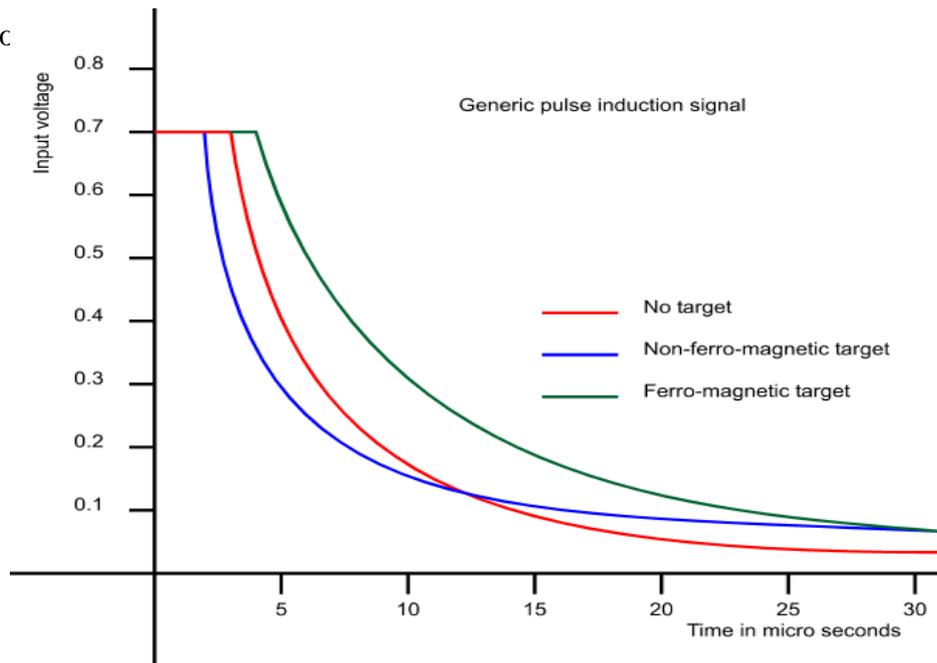


Figure I.4 : Graphique de réponse d'induction d'impulsion pour différentes cibles. [5]

Le champ magnétique est un outil puissant pour la détection d'objets métalliques et a un large éventail d'applications dans des domaines tels que la sécurité, la géologie et la science des matériaux.

I.3.3 Effet Doppler

I.3.3.1 Définition [6]

L'effet Doppler, également connu sous le nom de décalage Doppler, décrit le changement de fréquence de tous les types de sons et de lumière émis par une source sonore en mouvement par rapport à un observateur. Lorsqu'un objet se rapproche de l'observateur, les ondes émises par l'objet sont comprimées et leur fréquence augmente. En revanche, les signaux émis par des sources éloignées de l'observateur persistent.

I.3.3.2 Équation mathématique

L'effet Doppler est le décalage de la fréquence ou de la durée d'onde des ondes (telles que le son ou la lumière) dû au mouvement relatif entre la source des ondes et l'observateur.

L'équation générale de l'effet Doppler est donnée par :

$$F = F_0 \frac{(v+U)}{v \pm v_s} \quad (I.7)$$

F : Fréquence observée de l'onde

F_0 : Fréquence de l'onde émise par la source

v : vitesse des ondes dans un milieu (tel que l'air ou le vide)

U : vitesse de l'observateur par rapport au milieu

v_s : vitesse de la source par rapport au milieu

Le signe (+) est utilisé pour les cas où l'observateur et la source se rapprochent, et le signe (-) est utilisé lorsqu'ils s'éloignent l'un de l'autre.

I.3.3.3 Application pour un détecteur de métaux

L'effet Doppler est appliqué dans les détecteurs de métaux pour détecter la proximité d'un métal. Le principe de base est que les métaux ont une conduction électrique différente de celle du milieu environnant, ce qui peut être détecté en utilisant les propriétés de l'effet Doppler.

Une bobine de fil est utilisée dans un détecteur de métaux pour générer un champ magnétique alternatif. Lorsqu'un métal entre en contact avec la bobine, il modifie le champ magnétique à proximité, ce qui modifie la fréquence des ondes électromagnétiques émises par la bobine. Cette différence de fréquence est détectée par un circuit électronique qui peut alors avertir l'utilisateur de la présence d'un métal.

L'effet Doppler est également utilisé dans la technologie radars pour détecter la présence d'objets en mouvement tels que les avions, les automobiles et les navires. Dans ce cas, le signal radar est créé par un émetteur, réfléchi par le mobile et reçu par un récepteur. La valeur de la fréquence de la lumière réfléchie est modulée par la vitesse relative de l'objet entre l'émetteur et le récepteur, ce qui permet de déterminer sa vitesse et sa position.

I.3.4 Résistivité électrique

I.3.4.1 Définition

La résistivité, également connue sous le nom de résistivité électrique, est une mesure de la capacité d'un matériau à résister à la circulation du courant. Il est désigné par la lettre grecque rho (ρ) et se mesure en ohms ($\Omega \cdot m$). La résistivité est une propriété intrinsèque d'un matériau, ce qui signifie qu'elle est déterminée par les propriétés inhérentes du matériau telles que sa composition, sa structure et sa température.

La résistivité électrique est un facteur important dans les détecteurs de métaux. Cela affecte la capacité du détecteur à détecter le métal. Un détecteur de métaux génère un champ magnétique qui induit des courants de Foucault dans les objets métalliques. Ces courants de Foucault produisent un champ magnétique qui leur est propre, qui est détecté par le détecteur.

La force des courants de Foucault est affectée par la résistivité du métal. Les métaux à faible résistivité, tels que le cuivre et l'aluminium, sont plus faciles à détecter car ils produisent des courants de Foucault plus forts. Les métaux à haute résistivité, tels que l'or et le plomb, sont plus difficiles à détecter.

I.3.4.2 Résistivité dans les différents métaux

Cependant, voici une liste de résistivité électrique à 20°C pour différents métaux [7] :

- Argent : $1.59 \times 10^{-8} \Omega.m$
- Cuivre : $1.68 \times 10^{-8} \Omega.m$
- Or : $2.44 \times 10^{-8} \Omega.m$
- Aluminium : $2.82 \times 10^{-8} \Omega.m$
- Fer : $9.71 \times 10^{-8} \Omega.m$
- Nickel : $6.99 \times 10^{-8} \Omega.m$
- Plomb : $2.05 \times 10^{-7} \Omega.m$
- Zinc : $5.90 \times 10^{-8} \Omega.m$

Cette liste montre que l'argent et le cuivre ont une résistivité électrique plus faible que les autres métaux, ce qui les rend plus conducteurs et plus faciles à détecter avec des détecteurs de métaux.

I.3.4.3 Formule de la résistivité électrique

La résistance électrique dépend de la taille, de la forme et du matériau d'un objet. Sur la Figure I.5 ci-dessous, la résistance du cylindre est directement proportionnelle à sa longueur L. Plus le cylindre est long, plus la résistance est grande.

Cette formule se traduit par :

$$\rho = \frac{R \times A}{L} \quad (I.8)$$

ρ : Résistivité électrique du matériau en ohm-mètre ($\Omega \cdot m$)

R : Résistance électrique du matériau en ohms (Ω)

A : Section transversale du matériau en mètres carrés (m^2)

L : Longueur du matériau en mètres (m)

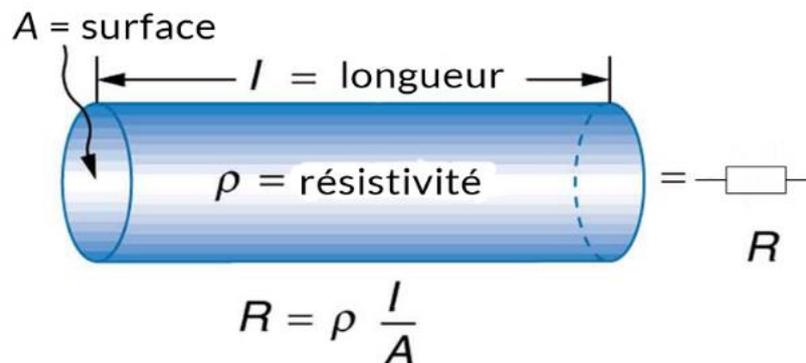


Figure I.5 : Cylindre régulier de longueur L et de surface de section A.

I.3.5 Magnétométrie

I.3.5.1 Définition

La magnétométrie est le principe général qui consiste à mesurer le champ magnétique d'un système quelconque afin d'en analyser et d'en étudier les propriétés. Il peut s'agir d'essayer

de déterminer le champ magnétique lui-même avec une grande précision, ainsi que de nombreuses autres caractéristiques du système.

La magnétométrie est aussi l'utilisation de capteurs magnétiques pour la détection et la mesure des champs magnétiques. Ses applications comprennent la détection des métaux, la prospection minière, la géophysique et la détection des défauts des matériaux, la navigation, la surveillance de l'environnement et la recherche scientifique.

I.3.5.2 Magnétométrie dans le domaine de la détection des métaux [8]

Dans le domaine de la détection des métaux, les magnétomètres sont utilisés pour détecter les variations du champ magnétique causées par des objets métalliques. Les capteurs magnétiques détectent les modifications du champ magnétique dues à la présence d'un objet métallique. Les détecteurs de métaux magnétométriques sont efficaces pour détecter des objets métalliques enfouis à des profondeurs relativement faibles, mais ils ont tendance à être moins précis que les détecteurs de métaux électromagnétiques, tels que les détecteurs à induction d'impulsions.

Nous trouvons des applications des magnétomètres dans les domaines suivants : lors de relevés géographiques et archéologiques, en tant que détecteur de métaux, pour détecter la minéralisation et les structures géographiques, dans l'industrie pétrolière et gazière pour le processus de forage directionnel.

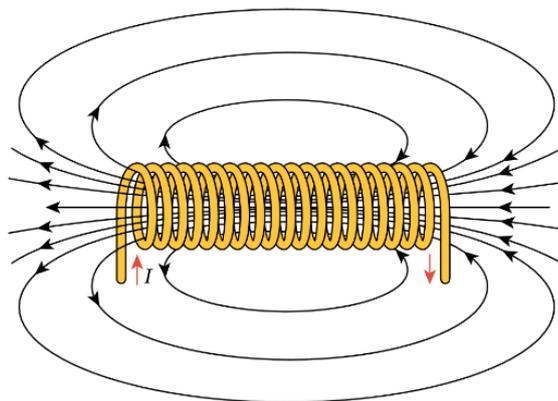


Figure I.6 : Champ magnétique d'un solénoïde.

La magnétométrie est également utilisée dans un large éventail d'applications de surveillance, de mesure et de recherche en raison de sa capacité à détecter les champs magnétiques avec un degré élevé de précision et de sensibilité.

Le processus d'induction d'un courant électrique dans un conducteur lorsqu'il est exposé à un champ magnétique changeant. En 1831, Michael Faraday a proposé les lois de l'induction électromagnétique ou loi de Faraday. Pour découvrir le phénomène de l'induction électromagnétique, il a dû procéder à trois expériences principales. L'ampleur de la force électromotrice (FEM) induite dans un circuit fermé est proportionnelle à la vitesse à laquelle le champ magnétique change avec le temps, conformément à la loi de Faraday. En d'autres termes, la force électromotrice induite et le courant électrique qui en résulte sont plus importants lorsque la vitesse de variation du champ magnétique augmente. [9]

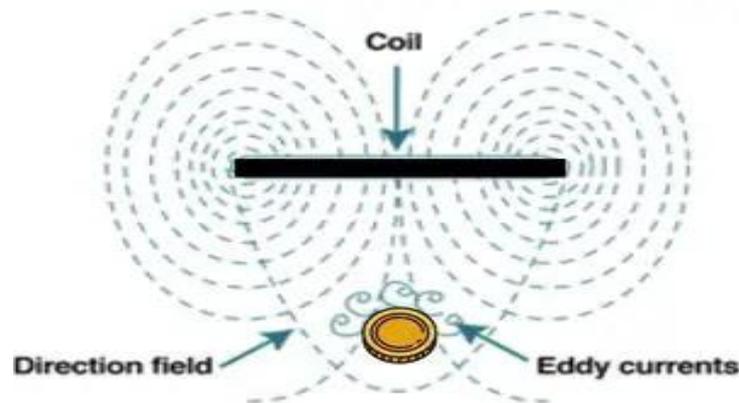


Figure I.7 : Pièce répondant au champ magnétique de la bobine.

Dans de nombreuses applications, telles que les générateurs, les transformateurs et les moteurs électriques, ce phénomène se produit. Dans les détecteurs de métaux, l'induction électromagnétique est utilisée pour créer et détecter des champs magnétiques qui interagissent avec des cibles métalliques conductrices, créant des courants de Foucault et modifiant leur champ magnétique. Cette modification du champ magnétique est ensuite détectée par la bobine réceptrice du détecteur de métaux, ce qui permet de détecter les objets métalliques.

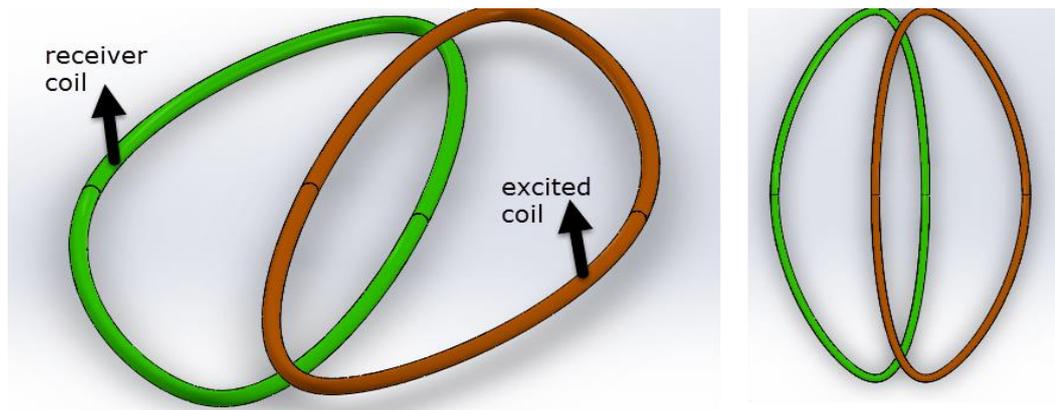


Figure I.8 : Disposition simple des bobines dans un détecteur de métaux.

I.3.6 Capacité [10]

I.3.6.1 Définition

La capacité est une propriété électrique qui est une mesure de la capacité d'une charge électrique de stockage. C'est la plus grande connue, d'où le nom de capacité électrique. La capacité est mesurée en Farad (F) et représente la quantité de charge électrique stockée dans un objet en fonction de la tension appliquée à cet objet.

La capacité est une propriété importante dans de nombreux domaines de l'électronique, pas dans le concept des circuits électroniques, des condensateurs et des détecteurs de métaux. C'est très important pour étudier l'électrostatique et l'électromagnétisme, et c'est très important pour comprendre comment l'électricité se charge.

I.3.6.2 Formule de la capacité

Cette formule se traduit par :

$$C = \frac{Q}{V} \quad (I.9)$$

C : Capacité en Farad (F)

Q : Quantité de charge en Coulomb (C)

V : Tension en Volt (V)

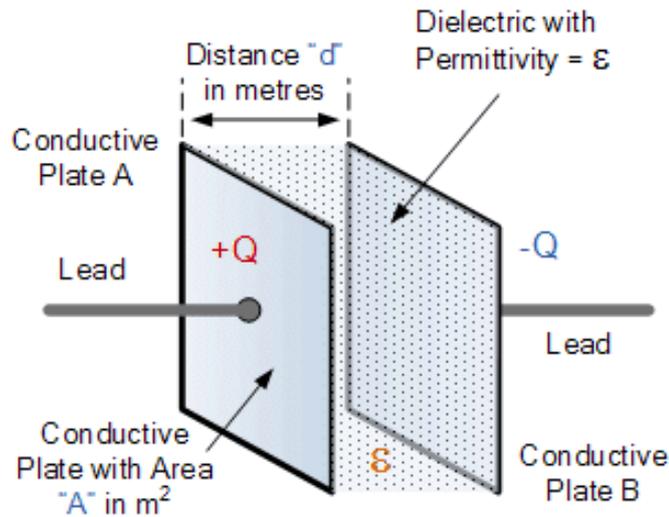


Figure I.9 : Schéma du condensateur à plaques parallèles.

I.3.6.3 Application dans un détecteur de métaux

Dans un détecteur de compteur de vitesse de voiture utilisé pour détecter la présence d'objets métalliques, la capacité est un paramètre important. Les détecteurs de métaux utilisent des ondes électromagnétiques pour créer un champ électromagnétique qui interagit avec les objets métalliques à proximité. Lorsqu'un objet métallique est présent, il provoque un changement de capacité dans le circuit utilisé pour détecter les métaux.

Plus précisément, la présence d'un objet métallique modifie la capacité du circuit oscillant du détecteur de métaux, entraînant une modification de la fréquence d'oscillation. Ce changement de fréquence est ensuite détecté et interprété comme un objet métallique présente.

La capacité d'un détecteur de métaux joue donc un rôle crucial dans la conception et le fonctionnement d'un détecteur de métaux. Les concepteurs doivent ajuster les valeurs de capacité des composants du détecteur pour obtenir la sensibilité et la précision souhaitées. Si la capacité est trop faible, le détecteur ne sera pas assez sensible pour la détection de petits objets métalliques, tandis que si la capacité est trop élevée, le détecteur sera moins sélectif et sera plus susceptible d'être sensible aux objets non métalliques.

1.4 Types de détecteurs de métaux commercialisés [11]

Il existe plusieurs types de détecteurs de métaux utilisés dans différents domaines, tels que l'archéologie, la sécurité, l'exploitation minière et la chasse au trésor. Voici les types les plus courants :

1.4.1 Détecteurs de métaux à induction pulsée (PI)

Ces détecteurs envoient des impulsions électromagnétiques dans le sol et mesurent les signaux de retour. Ils sont très sensibles et peuvent détecter des métaux à grande profondeur. Ils sont utilisés dans des applications industrielles, telles que la détection de conduites souterraines ou de structures métalliques enfouies.

1.4.2 Détecteurs de métaux à induction continue (VLF)

Ces détecteurs émettent un champ électromagnétique continu dans le sol. Lorsqu'ils rencontrent un objet métallique, ils détectent les variations dans le champ et génèrent un signal sonore. Ils sont largement utilisés dans la détection de métaux pour la chasse aux trésors, la sécurité et d'autres applications.

1.4.3 Détecteurs de métaux statiques

Ces détecteurs utilisent une méthode de balayage magnétique pour détecter les métaux. Ils peuvent détecter des objets métalliques à proximité en mesurant les changements de flux magnétique.

1.4.4 Détecteurs de métaux à transmission à tension nulle (ZVT)

La technologie de transmission à zéro tension (ZVT) est une technologie brevetée de Minelab développée par le physicien, Bruce Candy.

La technologie ZVT fonctionne en mesurant le signal immédiatement après un changement très rapide du champ magnétique. Cependant, contrairement aux systèmes basés sur l'induction d'impulsions, la technologie ZVT maintient un champ magnétique constant pendant la phase de réception.

1.4.5 Détecteurs de métaux à piézoélectricité

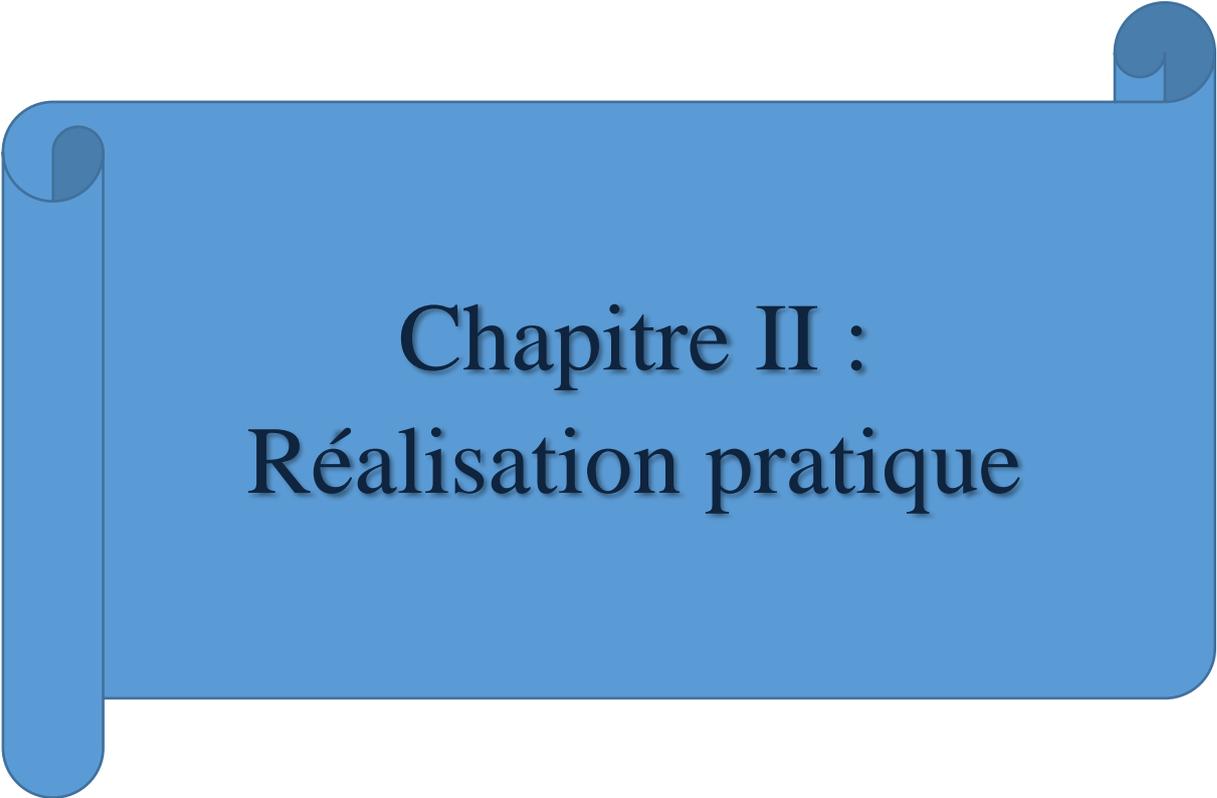
Ces détecteurs utilisent des matériaux piézoélectriques pour détecter les vibrations causées par la présence d'un objet métallique. Ils sont couramment utilisés dans les applications de sécurité pour détecter les armes en métal.

I.5 Conclusion

L'induction électromagnétique, le magnétisme, l'effet Doppler, la capacité et la détection basée sur la résistance électrique ne sont que quelques-unes des théories physiques utilisées dans la détection des métaux. Il n'y a pas qu'un seul "meilleur" principe pour un détecteur de métaux, malgré le fait que chaque principe a ses avantages. Alors que l'effet Doppler et la

Chapitre I : PRINCIPES PHYSIQUES DE LA DETECTION DES METAUX

réflexion acoustique sont utiles pour détecter des objets en mouvement et de petits objets, l'induction électromagnétique et le magnétisme sont efficaces pour détecter respectivement des objets métalliques plus grands et plus petits. Alors que la détection basée sur la capacité et la résistance électrique est efficace pour trouver des objets petits ou minces. En définitive, le principe le plus efficace dépendra de l'application et des besoins spécifiques de l'utilisateur.



Chapitre II : Réalisation pratique

II .1 Introduction

Un détecteur de métaux est un appareil de contrôle utilisé pour détecter les métaux potentiellement dangereux dans divers endroits tels que les aéroports, les centres commerciaux, les cinémas, etc. Nous allons fabriquer un détecteur de métaux à l'aide d'Arduino. Dans ce projet, nous utiliserons une bobine et un condensateur qui seront responsables de la détection des métaux. Ici, nous avons choisi d'utiliser Arduino Nano pour réaliser un projet de détecteur de métaux. Ce capteur détecte tout métal à proximité, le buzzer commence à émettre des bips très rapidement, avec une LED rouge allumée.

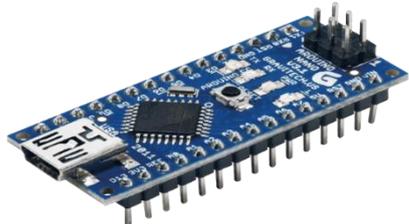
II.2 Composants utilisés

Pour la réalisation de notre projet, nous avons besoin de :

- 1 × Arduino nano.
- Fil de cuivre émaillé.
- 3 × Condensateur de 3,3nF.
- 1 × Avertisseur sonore.
- 1 × La résistance 1k-ohm.
- 1 × Résistance de 330 ohms.
- 1 × LED.
- 1 × 1N4148 diode.
- 1 × PCB.
- 1 × I2C.
- 1 × LCD.
- 1 × Interrupteur.
- 2 × Batterie au lithium 3,7 V.
- 1 × Module chargeur de batterie 2S 7.4V Li-ion Lithium (BMS).
- 1 × Port de charge de la batterie.
- Fils de connexion.

Chapitre II : RÉALISATION PRATIQUE

Tableau II.1 : Composants utilisés dans la réalisation.

Composants	Images
Arduino nano	
Condensateur 3,3nF	
Résistances	
LCD + I2C	
Lithium 7,4v + BMS	
LED + Buzzer + Interrupteur	

II.3 Caractéristiques des principaux éléments électroniques

II.3.1 Arduino Nano [12]

Arduino Nano est un type de carte de microcontrôleur, et il est conçu par Arduino.cc. Il peut être construit avec un microcontrôleur comme Atmega328 cadencé en 16 MHz. Ce microcontrôleur est également utilisé dans Arduino UNO. C'est une carte de petite taille et également flexible avec une grande variété d'applications, elle dispose une mémoire Flash de 32 kb et 2 kb de mémoire dynamique, ce qui offre de vastes possibilités en programmation.

II.3.2 LCD 16x02

Un afficheur utilisé pour afficher les données et le message est appelé LCD 16×2 . Comme son nom l'indique, il comprend 16 colonnes et 2 lignes afin qu'il puisse afficher 32 caractères ($16 \times 2 = 32$) au total et chaque caractère sera composé de 5×8 (40) Pixel Dots. Ainsi, le nombre total de pixels dans cet écran LCD peut être calculé comme 32×40 sinon 1280 pixels.

La configuration des broches du LCD 16 X 2 est décrite ci-dessous afin que la connexion du LCD 16×2 puisse être effectuée facilement avec des périphériques externes. [13]

II.3.3 I2C

L'I2C (Inter-Integrated Circuit) est un protocole de transmission en série qui permet la communication entre plusieurs équipements en utilisant seulement deux fils : une ligne d'horloge (SCL) et une ligne de données (SDA). Ce protocole est couramment utilisé pour connecter différents composants dans les systèmes électroniques, tels que les microcontrôleurs, les capteurs et les modules d'affichage.

En ce qui concerne les broches, les dispositifs I2C nécessitent généralement deux broches (SCL et SDA) pour communiquer. La broche SCL est utilisée pour synchroniser la communication entre les dispositifs en fournissant un signal d'horloge, tandis que la broche SDA est utilisée pour l'envoi et la transmission des données.

Dans l'ensemble, l'utilisation du protocole I2C simplifie le câblage et réduit le nombre de broches nécessaires à la communication, ce qui en fait un protocole de communication très répandu dans les systèmes électroniques.

Horloge Série (SCL) : Il s'agit d'un signal d'horloge. Les données seront envoyées aux autres dispositifs à chaque front d'horloge. Seul le dispositif maître contrôle cette ligne SCL.

Données Série (SDA) : Il s'agit d'une ligne de données série utilisée pour l'échange de données entre le dispositif maître et le dispositif esclave.

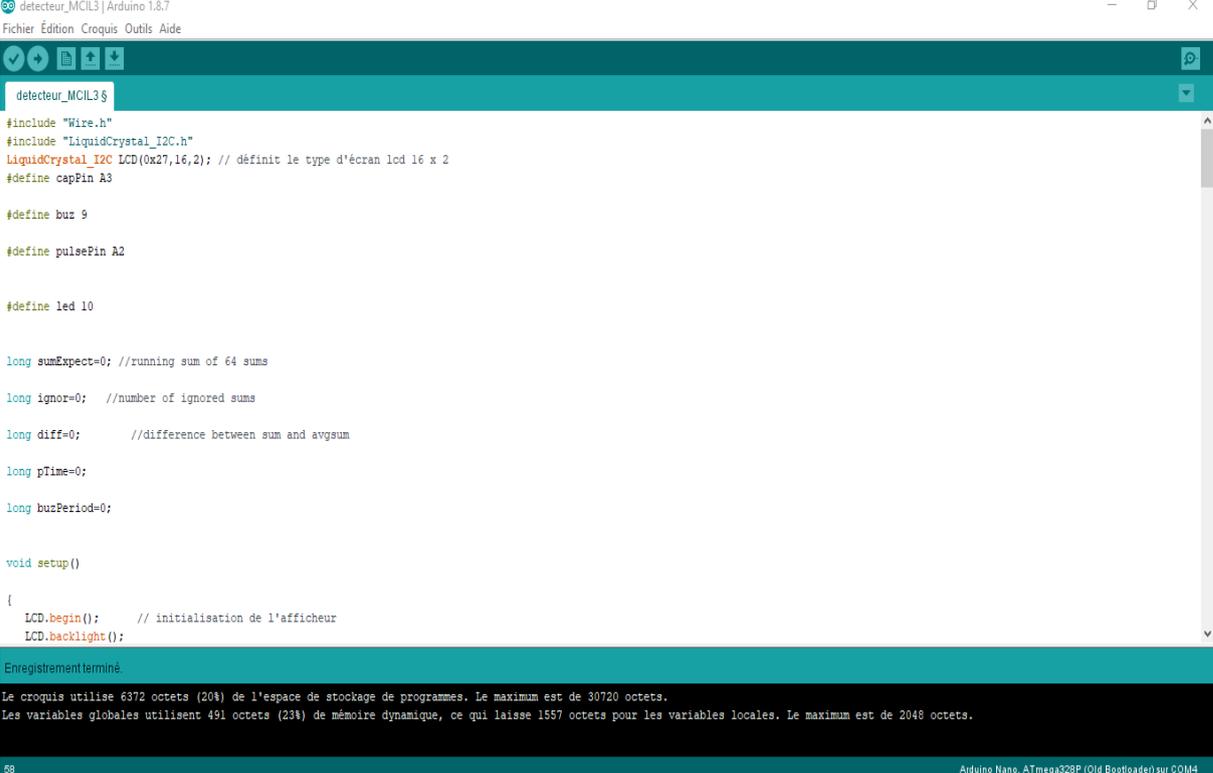
Le module LCD I2C 1602A contient 4 broches :

- Signal de données : SDA
- Signal d'horloge : SCL
- Signal d'alimentation : +VCC (5V)
- Signal de masse : GND [14]

II.3.4 Arduino IDE

L'Arduino IDE est un logiciel libre qui permet d'écrire et de téléverser du code sur les cartes Arduino. L'application IDE est compatible avec différents systèmes par exemple Windows, Mac OS X et Linux. Elle prend en charge les langages de programmation C et C++. IDE signifie Integrated Development Environment (environnement de développement intégré). [15]

Chapitre II : RÉALISATION PRATIQUE



```
detecteur_MCIL3 | Arduino 1.8.7
Fichier Édition Croquis Outils Aide

detecteur_MCIL3 $
#include "Wire.h"
#include "LiquidCrystal_I2C.h"
LiquidCrystal_I2C LCD(0x27,16,2); // définit le type d'écran lcd 16 x 2
#define capPin A3

#define buz 9

#define pulsePin A2

#define led 10

long sumExpect=0; //running sum of 64 sums
long ignor=0; //number of ignored sums
long diff=0; //difference between sum and avgsum
long pTime=0;
long buzPeriod=0;

void setup()
{
  LCD.begin(); // initialisation de l'afficheur
  LCD.backlight();
}

Enregistrement terminé
Le croquis utilise 6372 octets (20%) de l'espace de stockage de programmes. Le maximum est de 30720 octets.
Les variables globales utilisent 491 octets (23%) de mémoire dynamique, ce qui laisse 1557 octets pour les variables locales. Le maximum est de 2048 octets.
68 Arduino Nano, ATmega328P (Old Bootloader) sur COM4
```

Figure II.1 : Interface utilisateur Arduino IDE.

II.3.5 Proteus

Proteus est une série de logiciels destinés à l'industrie électronique. Développé par la société Labcenter Electronics, le logiciel inclus dans Proteus permet de faire de la CAO dans le domaine de l'électronique. Cette suite comprend deux programmes principaux : ISIS, ARES, PROSPICE et VSM.

Ce logiciel permet aux designers de créer et de valider leurs circuits imprimés.

Il intègre tous les outils et commandes disponibles pour la création de schémas électriques, avec ou sans l'utilisation de ses modèles.

Il combine un outil de conception puissant avec un support complet, des variables de montage et un sous-système complet de création de rapports de fabrication.

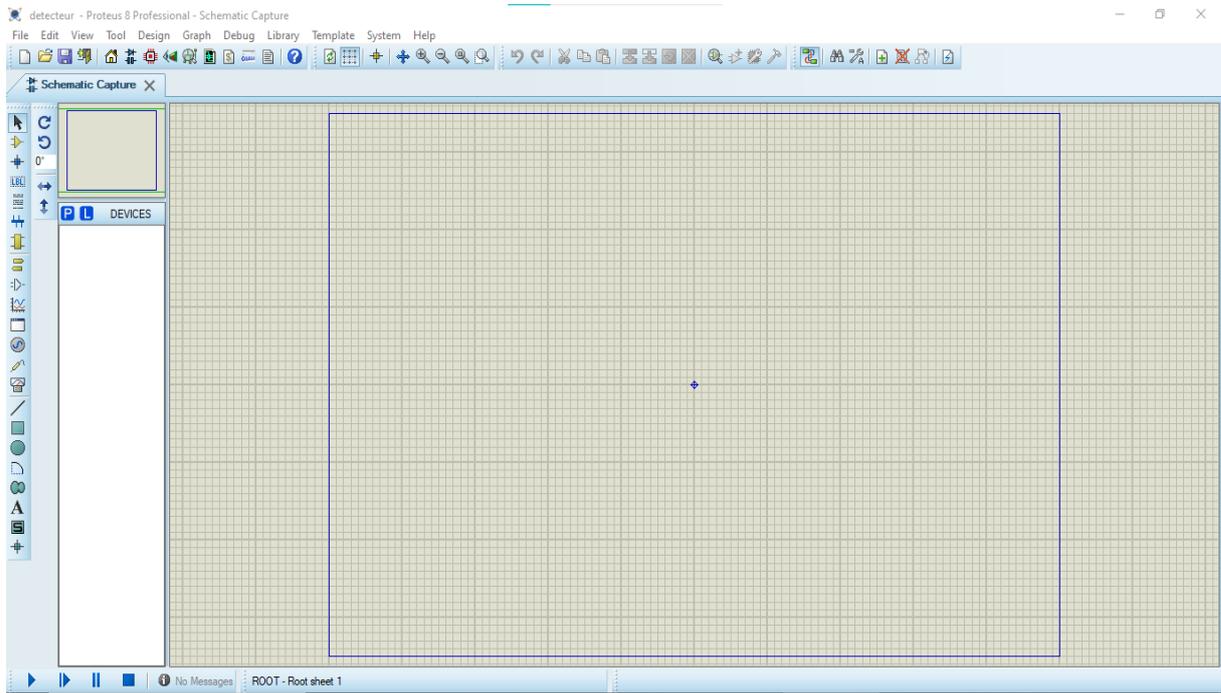


Figure II.2 : Interface utilisateur Proteus.

II.3.6 DC power jack

Une DC Power Jack est un composant utilisé dans de nombreux appareils électroniques qui permet de brancher une source d'alimentation stable. Bien que l'électronique nécessite une alimentation en courant continu 'DC', le courant alternatif 'AC' est le type d'électricité fournie et disponible dans les prises murales domestiques, principalement en raison de sa capacité à être livré sur de longues distances sans perdre de force. Par conséquent, avec la plupart des appareils électroniques, un adaptateur secteur connecté à une prise DC est nécessaire pour fournir de l'énergie de manière utilisable.

II.3.7 Battery Management System (BMS)

Battery management system (BMS) est une technologie dédiée à la surveillance d'un bloc-batterie, qui est un assemblage de cellules de batterie, organisé électriquement dans une configuration matricielle ligne x colonne pour permettre la livraison d'une plage ciblée de tension et de courant pendant une durée contre scénarios de charge attendus.

La surveillance fournie par un BMS comprend généralement :

- Surveillance de la batterie.

- Assurer la protection de la batterie.
- Estimation de l'état de fonctionnement de la batterie.
- Optimisation continue des performances de la batterie.
- Signalement de l'état opérationnel aux appareils externes.

II.4 Fonctionnement d'un détecteur de métaux

Chaque fois qu'un courant traverse la bobine, il génère un champ magnétique autour d'elle. La modification du champ magnétique génère un champ électrique. Selon la loi de Faraday, ce champ électrique crée une tension aux bornes de la bobine qui s'oppose à la variation du champ magnétique. La bobine crée donc une inductance, ce qui signifie que la tension générée s'oppose à l'augmentation de l'intensité du courant. L'unité d'inductance est le henry et la formule pour mesurer l'inductance est :

$$L = \frac{(N^2 \times \mu_0 \times A)}{l} \quad (\text{II.1})$$

L : Inductance en henrys (H).

N : Nombre de spires dans la bobine.

μ_0 : Perméabilité du matériau du noyau (en henrys par mètre ou H/m).

A : Section transversale du noyau de la bobine (en mètres carrés).

l : Longueur du noyau de la bobine (en mètres).

Cette formule s'applique à une bobine à noyau d'air simple ou à une bobine à noyau magnétique. Si le noyau est magnétique, μ est le produit de la perméabilité du vide et de la perméabilité relative du matériau du noyau. La formule suppose que la bobine est bien enroulée et que les spires sont proches les unes des autres.

Quand un métal s'approche de la bobine, celle-ci modifie son inductance. Ce type de changement d'inductance dépend du modèle de métal. Elle diminue dans le cas des métaux non magnétiques et augmente pour les matériaux ferromagnétiques tels que le fer.

En effet, selon le noyau de la bobine étudiée dans le premier chapitre, la valeur de l'inductance change considérablement. C'est pourquoi nous avons conçu quatre bobines (Figure

II.3) en faisant varier le diamètre et le nombre de spires tout en gardant le même diamètre de fil.

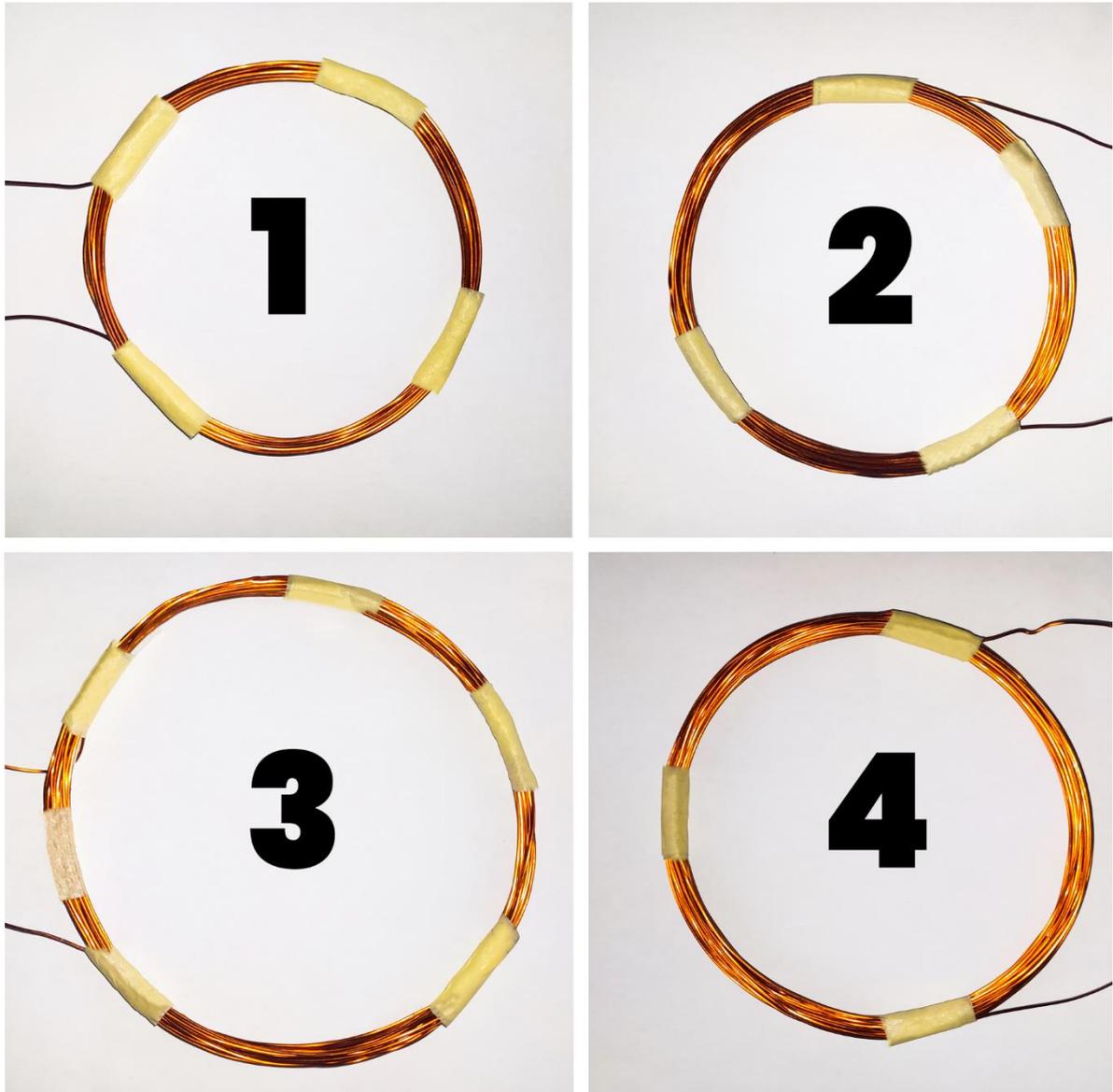


Figure II. 3 : Photo des quatre bobines utilisées

Chapitre II : RÉALISATION PRATIQUE

Dans le tableau suivant, nous donnons les détails des valeurs d'inductance et de résistance, le diamètre et la longueur de chaque bobine.

Tableau II.2 : Caractéristiques des 4 bobines utilisées séparément.

Bobine	1	2
Caractéristiques	10 tours diamètre de la bobine : 7 cm diamètre du cuivre : 0,4 mm longueur de cuivre : 2,2 m Résistance 1 = 1,9 Ω Inductance 1 = $2,17 \times 10^{-7}$ (H)	20 tours diamètre de la bobine : 10 cm diamètre du cuivre : 0,4 mm longueur de cuivre : 6,28 m Résistance 2 = 2,1 Ω Inductance 2 = $6,3 \times 10^{-5}$ (H)
Bobine	3	4
Caractéristiques	20 tours diamètre de la bobine : 12 cm diamètre du cuivre : 0,4 mm longueur de cuivre : 7,5 m L3 = $7,5 \times 10^{-5}$ (H) Résistance 3 = 2,3 Ω	30 tours diamètre de la bobine : 11 cm diamètre du cuivre : 0,4 mm longueur de cuivre : 10,36 m L4 = $1,03 \times 10^{-4}$ (H) Résistance 4 = 2,5 Ω

II.5 Schéma synoptique et câblage

Nous avons utilisé Arduino Nano pour contrôler complètement notre projet de détecteur de métaux. La LED et le Buzzer sont utilisés comme indicateurs pour le détecteur de métaux et comme pour la LCD et l'I2C. Une bobine et un condensateur sont utilisés pour le détecteur de métaux. La diode de signalisation est également utilisée pour réduire la tension. Une résistance de court-circuit sur la broche Arduino.

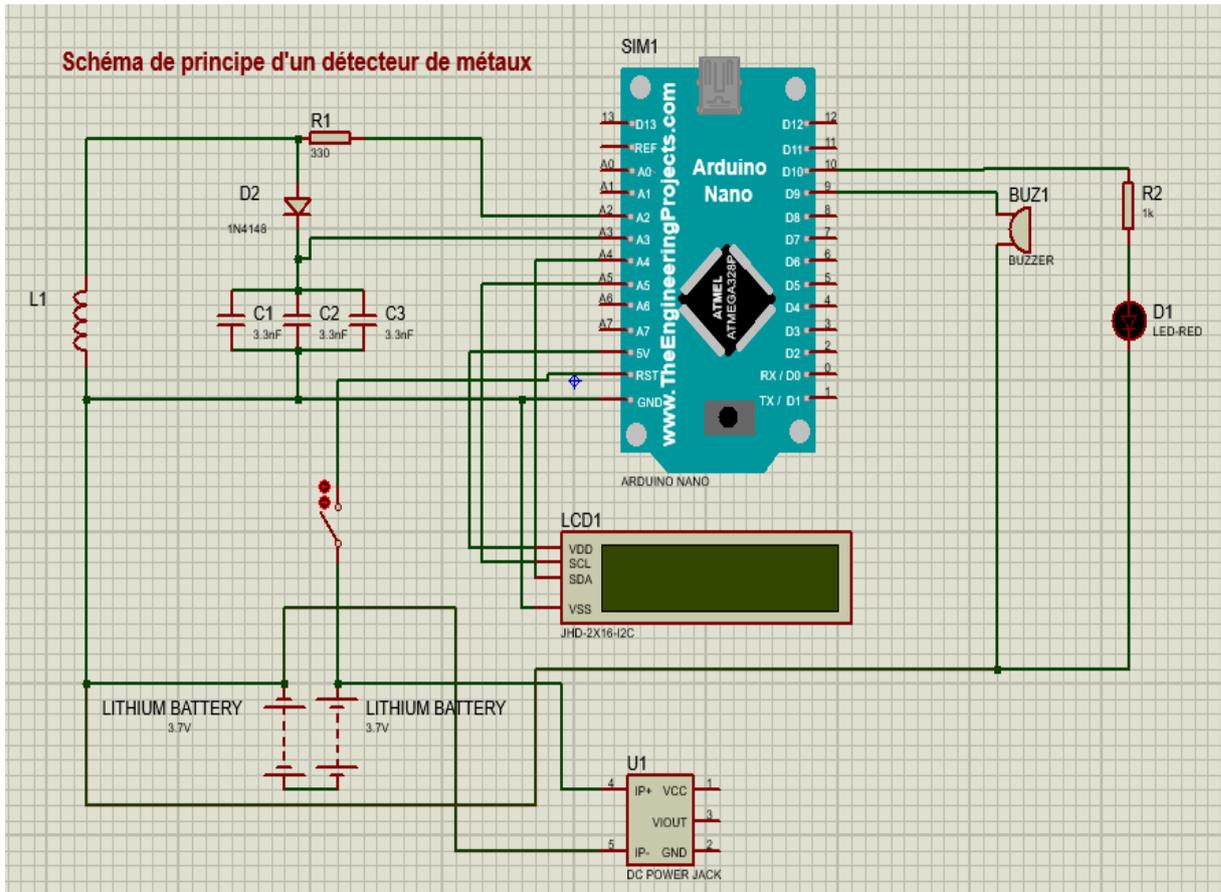
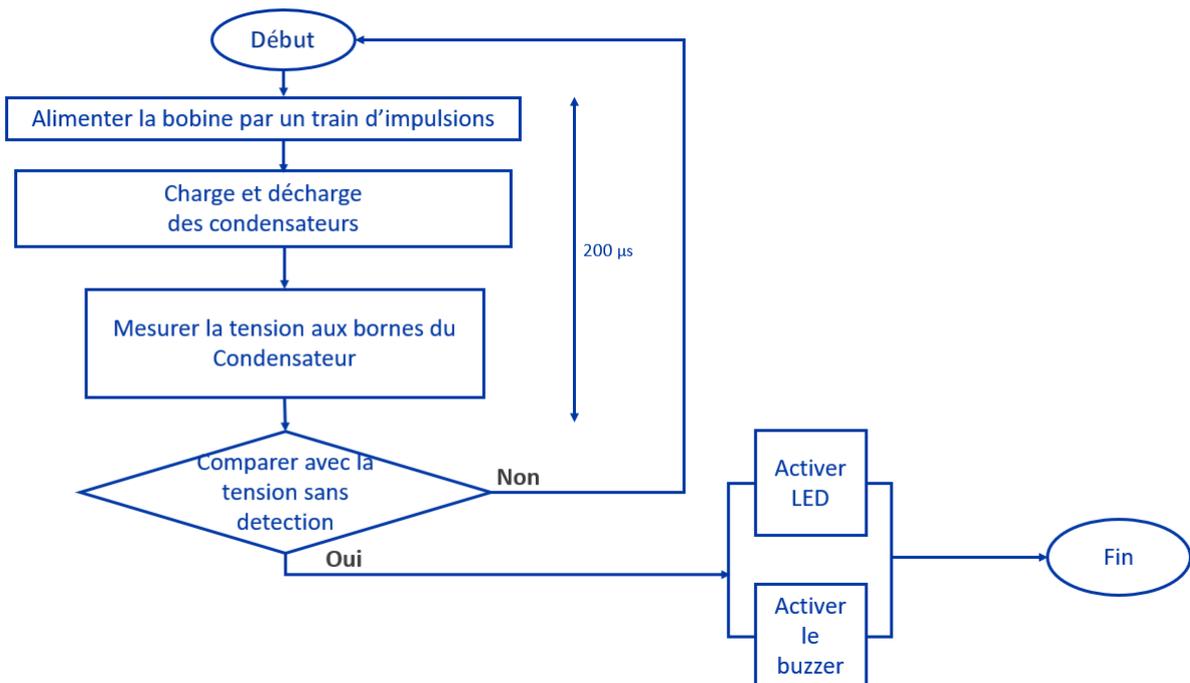


Figure II.4 : Simulation du projet en Proteus.

Schéma synoptique



II.6 Explication du fonctionnement

Ici, nous envoyons le signal bloc ou l'impulsion, générée par Arduino, au filtre passe-haut LR. De ce fait, de courtes pointes seront générées par la bobine à chaque transition. La longueur des impulsions générées est proportionnelle à l'inductance de la bobine. Ainsi, à l'aide de ces impulsions, nous pouvons mesurer l'inductance de la bobine. Mais ici, il est difficile de mesurer précisément l'inductance avec ces pointes car elles sont de très courte durée (environ 0,5 microseconde) et il est très difficile de les mesurer avec l'Arduino.

Nous avons donc choisi 3 condensateurs. Il a fallu quelques impulsions pour charger le condensateur jusqu'au point où sa tension peut être lue par la broche analogique A3 de l'Arduino. Après avoir lu la tension, le condensateur est rapidement déchargé en transformant la broche A3 en sortie et en la mettant à l'état bas. Ce processus prend environ 200 microsecondes. Pour obtenir un meilleur résultat, nous répétons les mesures et prenons la moyenne des résultats. C'est ainsi que nous pouvons mesurer l'inductance approximative d'une bobine. Après avoir obtenu le résultat, nous le transférons à la LED et au buzzer pour détecter la présence de métal.

Nous avons utilisé deux broches Arduino, l'une pour générer les ondes de masse à envoyer dans la bobine et la seconde une broche analogique pour lire la tension du condensateur. Outre ces deux broches, nous avons utilisé d'autres broches Arduino pour connecter la LED et le buzzer.

Lorsque nous allumons l'interrupteur du détecteur, l'écran LCD s'allume en premier, nous l'utilisons pour afficher un message entrant du <<Détecteur de métaux MCIL3 2023>> et nous avons le choix de le changer sur l'IDE Arduino.

Pour l'alimentation, nous avons utilisé une combinaison de 2 batteries li-ion lithium rechargeables et contrôlées par le circuit BMS, ce qui nous donnera la possibilité de charger les batteries en toute sécurité.

Les deux batteries sont de (3,7v) et comme elles sont connectées en parallèle, cela nous donne environ (7,4v), ce qui est suffisant pour que le détecteur fonctionne correctement.



Figure II.5 : Réalisation du détecteur de métaux produit fini.

II.7 Expérience et résultats

Pour s'assurer que l'appareil fonctionne au plus haut rendement, nous avons effectué plusieurs tests pour noter la sensibilité de notre système, en prenant un morceau de fer et un autre morceau de cuivre de mêmes dimensions 12cm x 12,5cm, à chaque fois que nous changeons la bobine et lire la distance à laquelle le détecteur a détecté le métal.

Le tableau suivant explique la distance à laquelle le détecteur a détecté le métal dans chaque bobine avec les deux éléments métalliques.

Tableau II.3 : Distance de sensibilité pour 4 Bobines utilisées séparément.

	fer	cuivre
Bobine 1	65 mm	50 mm
Bobine 2	75 mm	60 mm
Bobine 3	155 mm	130 mm
Bobine 3	85 mm	75 mm

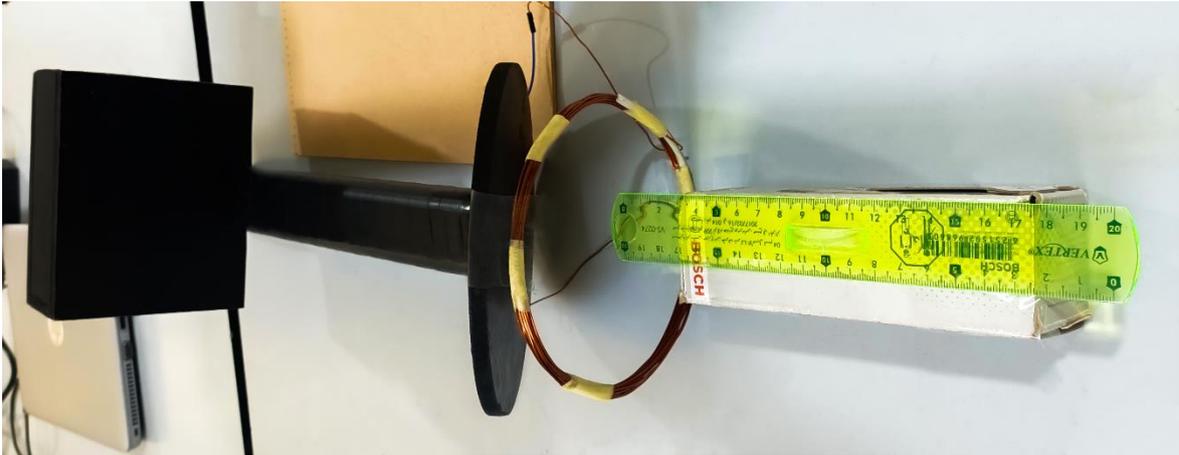


Figure II.6 : détecteur de métaux en test

II .8 Conclusion

Dans le présent chapitre, nous avons présenté les différents éléments constituant notre réalisation pratique, ainsi que leurs brochages et mode de fonctionnement. Aussi, nous simuler le schéma électrique et élaborer notre dispositif.

Nous avons finalisé notre travail par des tests de la sensibilité de notre système afin de sélectionner les paramètres optimaux de la bobine.

Conclusion générale

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les détecteurs de métaux jouent un rôle important dans divers domaines et ont plusieurs utilisations essentielles telles que : le contrôle de sécurité, l'application dans les forces de l'ordre, l'archéologie et la chasse au trésor...

L'inconvénient majeur de ces détecteurs est leur coût élevé. C'est pourquoi nous nous orientons vers la réalisation d'un détecteur de métaux sensible à bas prix.

Notre thème : " Conception et élaboration d'un détecteur de métaux à base d'Arduino", vise à réaliser un système de détection géré par une carte Arduino Nano. Cette dernière reçoit des informations à partir de la bobine qui interagit avec le métal et active la LED et le buzzer pour signaler la présence d'un métal.

Afin de tester la sensibilité de notre système, nous avons réalisé huit essais en utilisant quatre bobines de diamètres différents et un nombre de tours variable. Nous avons utilisé deux matériaux, l'un étant ferromagnétique et l'autre paramagnétique.

Nous avons constaté que notre système présentait une excellente sensibilité en utilisant une bobine de 20 tours et de 12 cm de diamètre.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] : 'Metal Detector Handbook for Humanitarian Demining.' by the Geneva International Centre for Humanitarian Demining.
- [2] : Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). Physics for scientists and engineers (10th ed.). Cengage Learning.
- [3] : <https://collegedunia.com/exams/magnetic-field-physics-articleid-763> 17-05-2023/17 : 19
- [4] : https://uel.unisciel.fr/physique/magneto/magneto_ch01/co/apprendre_ch1_02_02.html 04-06-2023 / 2:52
- [5] : https://www.lammertbies.nl/picture/pi_decay.png 05-2023/17 : 19
- [6] : <https://news.mit.edu/2010/explained-doppler-0803> 17-05-2023/23 : 20
- [7] : <https://www.choisir.com/energie/articles/104511/comprendre-la-conductivite-electrique> 19-05-2023/8 :17
- [8] : <https://www.vedantu.com/physics/magnetometer> 21-05-2023/10 :40
- [9] : <https://byjus.com/physics/faradays-law/> 20-05-2023/10 : 20
- [10] : <https://www.britannica.com/technology/tuned-circuit>
- [11] : https://megalocators.com/fr/configuration-du-detecteur-de-metaux/?fbclid=IwAR1RtvUAWV86GvcphxGkzKdlcgnIwTOOb7Hg_koCFYHcgP8z7ekLeq5w1N0
- [12] : <https://www.elprocus.com/an-overview-of-arduino-nano-board/> 27-052023 / 17 : 00
- [13] : <https://www.watelectronics.com/lcd-16x2/> 27-052023 / 17 :20
- [14] : https://www.robotique.tech/tutoriel/afficheur-i2c_lcd-1602a/ 27-052023 / 18 :09
- [15] : <https://www.javatpoint.com/arduino-ide> 27-052023 / 21 :44
-

Résumé

Résumé

Notre mémoire intitulé : Conception et élaboration d'un détecteur de métaux à base d'arduino, traite la phénoménologie physique de la détection des métaux, ainsi que la procédure à suivre pour la réalisation de notre dispositif.

Notre système est contrôlé par une carte de commande arduino nano et nous renseigne de la présence d'un métal par un signal sonore généré par un buzzer et un clignotement d'une LED rouge. L'interaction entre le métal et notre dispositif se réalise via la bobine sans contact.

Les essais réalisés sur plusieurs échantillons ferromagnétiques et paramagnétiques ont montré que notre système présente une excellente sensibilité.

Mots clé : Détecteur de métaux, Arduino Nano, Cuivre, Batterie rechargeable, matériaux métallique, Courants de Foucault, champ magnétique

Abstract

Our thesis entitled "Design and Development of an Arduino-based Metal Detector" discusses the physical phenomenology of metal detection, as well as the procedure followed to build our device.

Our system is controlled by an Arduino Nano board and notifies us of the presence of metal through a flashing red LED and audible signal generated by a buzzer. The interaction between the metal and our device is achieved through the contactless coil.

Tests conducted on various ferromagnetic and paramagnetic samples have demonstrated that our system exhibits excellent sensitivity.

Key words: Metal detector, Arduino Nano, Copper, Rechargeable battery, metallic materials, eddy currents, magnetic field

ملخص

تناقش أطروحتنا بعنوان "تصميم وتطوير جهاز الكشف عن المعادن القائم على اردوينو" الظواهر الفيزيائية للكشف عن المعادن بالإضافة إلى الإجراءات المتبعة لبناء الجهاز.

يتم التحكم في نظامنا من خلال لوحة Arduino Nano وتبلغنا بوجود المعدن من خلال وميض LED أحمر وإشارة مسموعة يصدرها الجرس. يتم تحقيق التفاعل بين المعدن وجهازنا من خلال الوشيعه دون التلامس.

أثبتت الاختبارات التي أجريت على مختلف العينات المغناطيسية والشبه مغناطيسية أن جهازنا ذو حساسية

ممتازة.

الكلمات المفتاحية: كاشف معادن، اردوينو نانو، نحاس، بطارية قابلة للشحن المواد المعدنية ، التيارات الدوامه ، المجال المغناطيسي