

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de Technologie
Département d'électronique

MINI-PROJET DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

LICENCE

En Électronique

Option : Électronique

Thème

Conception et réalisation d'un détecteur de métaux à induction pulsée

Présenté par :
GUENDOUZ Cheima
CHEBABHI Hala

Proposé et dirigé par :
SAHED Mohamed

Année Universitaire : 2018/2019

Table des matières

Résumé	3
Introduction générale.....	4
Chapitre 1 : Généralité sur le détecteur de métaux	6
1.1. Introduction	6
1.2. Détecteur métaux.....	6
1.3. Historique.....	6
1.4. Principe de fonctionnement.....	7
1.5. Discrimination entre métaux.....	7
1.6. Différents types de détecteurs de métaux.....	8
1.6.1. Détecteurs à battement de fréquence.....	8
1.6.2. Détecteurs très basse fréquence	8
1.6.3. Détecteurs à induction pulsée.....	9
1.6.4. Radar à pénétration de sol.....	10
1.7. Différents types de métaux	10
1.7.1. Métaux ferreux	10
1.7.2. Métaux non-ferreux	10
1.7.3. Acier inoxydable non magnétique	10
Chapitre2 : Réalisation pratique	11
2.1. Introduction	11
2.2. Logiciels utilisés.....	11
2.2.1. Le simulateur Proteus.....	11
2.2.2. Le compilateur MikroC PRO.....	13
2.3. Simulation du détecteur de métaux sur Proteus.....	14
2.3.1. Schéma électrique.....	14
2.3.2. Liste des composants utilisés	15
2.4. Réalisation pratique du détecteur de métaux	16
Conclusion.....	17

Résumé

Nous avons réalisé dans ce mini-projet de fin d'étude un détecteur de métaux simple à l'aide de composants standard. La détection d'un objet métallique s'effectue par un oscillateur électrique comportant une bobine détectrice permet de produire un champ magnétique variable lorsqu'elle est parcourue par un courant alternatif. Tout élément métallique présent dans ce champ, réagit et modifie la valeur de l'inductance de la bobine et donc la fréquence de l'oscillateur auquel elle appartient. Cette variation de fréquence est convertie en tension pour déclencher l'alarme sonore, par l'intermédiaire d'un transistor de puissance. Notre circuit est suffisamment performant pour révéler la présence d'un objet métallique de 100g enfoui à 5-10 cm. Toutes nos connaissances actuelles en électronique ont été acquises grâce à ce travail.

Introduction générale

De nos jours, les détecteurs de métaux sont plutôt connus pour la découverte d'or ou de vieilles pièces de monnaie. Cependant, ils possèdent de nombreuses autres applications, notamment dans le domaine de la sécurité. Un détecteur de métal permet ainsi de repérer la présence d'un métal sur un individu ou dans le sol. Dans tous les cas, leur principe de fonctionnement repose sur l'induction électromagnétique, autrement dit le transfert d'énergie entre une bobine détectrice et un métal.

Démarche :

Le domaine des détecteurs de métaux est un domaine émergent et attractant. Bien que ce domaine soit un peu protégé, nous avons décidé de réaliser un détecteur de métaux simple dans le cadre de notre projet de fin d'étude. Ce détecteur est capable de repérer des objets métalliques se trouvant à proximité de la bobine détectrice.

Après avoir modélisé le détecteur sur le logiciel Proteus, on a réussi à réaliser le circuit final après quelques expériences qui nous ont permis de voir l'influence des différents composants de circuit sur la détection de certains paramètres, comme la distance métal/bobine et le nombre de spires de la bobine. Alors à l'aide de notre encadreur et le soutien de deux parmi nos enseignants, nous avons construit un détecteur à induction pulsée, car ce modèle plus élaboré est le plus simple à comprendre et est un peu facile à réaliser. Quoique le circuit proposé était simple, mais il peut répondre aisément à notre problématique, mais à condition d'être bien réalisé et étalonné correctement.

Après avoir monté le circuit sur la plaque d'essai et puis réalisé le circuit imprimé, nous avons soudé l'ensemble des composants et après quelques tests nous avons pu visualiser les variations des signaux sur oscilloscope en présence d'un métal dans le rayon d'investigation de notre détecteur. En effet, le détecteur qu'on a conçu et réalisé n'est pas très performant et

les résultats des expériences que nous avons réalisées pour distinguer la nature des différents métaux n'ont pas été concluants.

Objectif du projet :

Ce projet de fin d'étude a pour objectif de réaliser un circuit électronique en rapport avec notre formation et permettant ainsi de satisfaire le cahier de charge proposer pour concevoir et réaliser un détecteur des objets métalliques.

Notre choix s'est tourné donc vers la réalisation d'un détecteur de métaux à induction pulsée à cause de sa simplicité et utilité en même temps. Ce détecteur est piloté par un PIC16F877A de Microchip®. Il permet aux utilisateurs d'être alertés lorsque un ou plusieurs métaux se trouvant dans la zone de recherche, en déclenchant une alarme sonore et affichant ainsi un message sur l'écran LCD du système de détection. Dans ce travail, on a fabriqué la bobine de détection manuellement et voilà pour l'adapter au cahier de charge de notre projet.

Chapitre 1 : Généralité sur le détecteur de métaux

1.1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons une description détaillée de la réalisation pratique adoptée pour répondre aux spécifications de notre cahier de charge et en abordant la conception détaillée de chaque partie du système afin d'obtenir une schématisation, simulation et réalisation complètes et précises du notre système de détection.

1.2. Détecteur métaux

Un détecteur de métaux est un appareil permettant de localiser des objets métalliques en exploitant le phénomène physique de l'induction magnétique. Il est utilisé par exemple dans le domaine de la sécurité, dans les aéroports pour détecter des armes cachées sur les passagers d'un avion, dans le domaine militaire pour le déminage, dans les loisirs pour la recherche de divers objets enfouis, en archéologie pour la recherche d'objets anciens et, marginalement, dans le domaine médical pour la détection des métaux avant utilisation d'un appareil d'IRM.

1.3. Historique

En 1881, le président des États-Unis James Garfield, fut victime d'un attentat. Aucun des 16 chirurgiens qui le traitèrent ne put localiser la balle qui était restée dans son corps. Alexander Graham Bell fut convoqué à son chevet et utilisa un détecteur de métaux primitif pour rechercher la balle, mais sans succès.

Durant la Première Guerre mondiale, des détecteurs de métaux sont utilisés par des chirurgiens pour localiser ou même extraire (avec un électro-aimant) des éléments métalliques ayant pénétré le corps (l'œil en particulier). En particulier un *révélateur de métaux à distance* était utilisé, sous forme d'un « *doigtier audioscopique* », basé sur le principe de la balance électrique de Hughes; un écouteur dit téléphone placé sur l'oreille du chirurgien lui signale au moyen d'un son plus ou moins fort si son doigt muni du doigtier s'approche ou s'éloigne de l'objet métallique à extraire³. Selon H Guilleminot, une version de grande taille de

ce détecteur aurait même été testée pour retrouver dans le sol des munitions non explosées, avec des résultats « *qui sont parait-il des plus encourageants* » précisait Guillemillot.

Gerhard Fisher est l'inventeur et le constructeur d'un des tout premiers détecteurs de métaux à large diffusion, le "Metallscope". Il connaîtra le succès après avoir fondé en 1931 l'entreprise Fisher Labs qui commercialisera son invention.

Józef Kosacki est l'inventeur durant l'hiver 1941-1942 d'un détecteur de métaux portatif, le détecteur de mine polonais. Il fut utilisé pour la première fois par l'armée britannique pour le déminage en Afrique du Nord.

1.4. Principe de fonctionnement

Un détecteur de métaux fonctionne en exploitant un phénomène physique bien connu : l'induction électromagnétique. Seuls les objets conducteurs, et en particulier les métaux, sont le siège de courants induits (les courants de Foucault). Un conducteur électrique transportant du courant produit un champ magnétique dans l'espace qui l'entoure mais l'inverse est également vrai. Un champ magnétique variable produit un courant dans un conducteur. À travers une bobine, la loi de Faraday donne la valeur de la force électromotrice produite par la variation du champ magnétique. La présence d'un objet métallique à proximité d'une bobine modifie son inductance, ce qui est repéré électroniquement par la modification de la force électromotrice aux bornes de la bobine.

En général, un détecteur de métaux est composé de deux bobines :

- ✓ la bobine émettrice est alimentée par un courant électrique alternatif sinusoïdal.
- ✓ la bobine réceptrice réagit au champ magnétique induit par les courants de Foucault et produit un courant électrique qui présente un décalage de phase par rapport au courant de la bobine émettrice. Un processeur analyse l'intensité du courant induit ainsi que son décalage de phase pour opérer la détection. Cette analyse lui permet de percevoir la profondeur, la taille et la conductivité de l'objet.

Le courant est ensuite amplifié, traité et converti par l'appareil en informations visuelles et sonores qui permettent au prospecteur d'identifier la présence d'un objet métallique intéressant.

1.5. Discrimination entre métaux

Plus l'objet métallique est gros, plus il sera conducteur et plus le décalage de fréquence sera grand. De même certains métaux sont meilleurs conducteurs (l'argent notamment) et le décalage de fréquence sera d'autant plus grand. C'est en étudiant ce décalage de fréquence que l'objet détecté peut être « discriminé », c'est-à-dire réussir à distinguer et trouver la nature de ce métal. Mais dans la pratique, c'est un peu différent. En effet un détecteur de métaux cherche du métal mais aussi ses différents alliages. La conductivité électrique d'un alliage est différente d'un alliage à un autre et sa valeur peut être proche entre deux alliages de nature très différente.

Ainsi de l'or 18 carats, peut tout à fait être confondu avec du papier d'aluminium et si le papier d'aluminium est éliminé à l'aide du bouton discrimination, l'or est également éliminé. De l'or

bas titre (14 carats) pourra même être visualisé sur le vu-mètre du détecteur comme du fer (ou pas loin).

En définitive, la discrimination n'est valable que pour les petits ferreux (petits morceaux de fil de fer barbelé ou petits clous) mais pas pour les grosses masses ferreuses (genre fer à cheval dont la forme en boucle se détecte facilement). Toutefois, il existe des détecteurs de métaux capables d'indiquer la présence d'une grosse masse ferreuse sans erreur. Le fer donne en effet un signal particulier facilement reconnaissable sur un oscilloscope. Du fait de la variété des alliages, la discrimination ne peut être considérée comme totalement fiable. Si tous les métaux étaient purs, discriminer ne serait pas un problème.

1.6. Différents types de détecteurs de métaux

Les premiers détecteurs fonctionnaient selon le principe du battement de fréquence mais ils étaient peu performants. La technique des très basses fréquences donna une meilleure sensibilité, mais dans les années 1960, l'induction par impulsion fut mise au point et elle est actuellement encore la plus utilisée.

1.6.1. Détecteurs à battement de fréquence

Les détecteurs à battement de fréquence furent les premiers à apparaître car ils sont simples à mettre en œuvre mais ce sont également les moins sensibles. Le principe est le battement de fréquence. Il utilise, en fait, deux oscillateurs, l'un fixe, l'autre sensible aux modifications du champ magnétique. La modification du champ magnétique d'une bobine influe, comme nous l'avons vu, sur son inductance et donc, si un oscillateur est construit autour de cette dernière, celui-ci aura une fréquence qui réagit avec le champ magnétique et donc la présence de métal.

Pour l'utiliser, il suffit de comparer le signal issu de cet oscillateur avec un signal de référence ; ce dernier représente le signal du premier oscillateur qui ne serait pas modifié par la présence de métal. Le signal comparé peut servir à allumer une diode ou être relié à un amplificateur pour entendre via un haut-parleur la différence des fréquences si celle-ci est comprise entre 20 Hz et 30 kHz.

1.6.2. Détecteurs très basse fréquence

Les fréquences utilisées sont inférieures à 20 kHz. Ces détecteurs sont composés de deux bobines, une émettrice et une réceptrice. La bobine émettrice traversée par un courant sinusoïdal génère autour d'elle un champ magnétique ; lorsqu'un objet métallique passe dans ce champ magnétique, des courants de Foucault apparaissent en son sein. Ces courants génèrent à leur tour un champ magnétique qui tend à compenser le champ magnétique créé par la bobine émettrice. La bobine réceptrice va réagir au champ magnétique émis par l'objet métallique, un courant induit va la traverser. Ce courant traité par l'électronique permet de savoir s'il y a ou non un objet métallique.

Ces détecteurs permettent de discriminer les métaux et les ferromagnétiques. Le signal perçu par la bobine réceptrice est déphasé par rapport au signal émis. Le déphasage dépend des métaux et permet ainsi de les discriminer. Pour un prospecteur, le but est de se débarrasser avant tout des petits objets en fer. Discriminer l'aluminium fait courir le risque de manquer des cibles intéressantes en alliage tel que le billon, l'électrum, le potin (qui ont servi à travers les âges à fabriquer des monnaies) et même l'or.

La fréquence d'oscillateur sur laquelle le détecteur fonctionne conditionne sa qualité de réponse aux métaux précieux ainsi que sa résistance aux effets de sol. Ainsi, plus sa fréquence est haute (au-dessus de 10 kHz et très au-delà, vers 20 kHz), plus il sera sensible aux ferrailles et perturbations du sol et moins bien il ressentira les métaux précieux. En dessous de 10 kHz ou encore plus bas, les appareils deviennent insensibles aux effets de sol réduisant de leur performances.

Les détecteurs de métaux très basse fréquence, appelés aussi VLF (very low frequency), peuvent être utilisés avec deux types de disques de détection : les disques concentriques et les disques wide scan (appelés aussi double D). La différence entre ces deux types de disques vient de l'agencement interne des bobines émettrices et réceptrices. Dans un disque concentrique, les deux bobines ne se chevauchent pas, alors que dans un disque wide scan elles se chevauchent sur une petite surface.

1.6.3. Détecteurs à induction pulsée

Le détecteur à induction pulsée ne nécessite qu'une seule bobine. Ces détecteurs sont très performants dans la recherche en grande profondeur. Ils peuvent détecter jusqu'à 1,50 m sous le sol pour des objets réduits et jusqu'à environ 3,50 m pour de grosses masses métalliques. Une puissante impulsion de courant est envoyée dans la bobine. Chaque impulsion génère un champ magnétique très bref. Quand l'impulsion prend fin, la polarité du champ s'inverse et s'écroule soudainement ce qui provoque un pic de courant, l'impulsion de retour.

Celui-ci dure quelques microsecondes et cause un autre courant à travers la bobine. Le processus se répète. Si le détecteur est au-dessus d'un objet métallique, l'impulsion crée un champ magnétique opposé dans l'objet. Quand l'impulsion s'arrête, le champ magnétique de l'objet augmente la durée de l'impulsion de retour. Un circuit test permet de contrôler la durée de l'impulsion de retour. En la comparant avec la longueur de départ, le circuit détermine si un autre champ magnétique a rallongé le temps de décroissance de l'impulsion de retour.

Ces détecteurs n'ont pas nécessairement la forme en plateau ovale des détecteurs classiques à basse fréquence. Il en existe sous forme de cadre de 1 × 1 m ou 2 × 2 m, à soulever des deux mains, ceux-ci ne détectant alors que les masses de la taille d'un poing, donc pas les petites pièces. Mais il existe de plus petits cadres, proche de la taille d'un plateau classique, qui eux

détectent les pièces et autres petits objets, toujours en technologie d'induction pulsée. Ce type de détecteur se rencontre aussi sous la forme de deux petits cadres reliés par une barre se fixant sur un tableau de bord de détecteur classique. Leur performance en discrimination est beaucoup moins importante que ceux à basse fréquence. En revanche, ils sont beaucoup moins sensibles aux effets de sol. Les premiers modèles étaient statiques (se déplacer d'une zone de détection à une autre puis rester statique pour la détection), on en trouve à présent des semi-statiques où l'on peut se déplacer très lentement sur le terrain.

1.6.4. Radar à pénétration de sol

Le radar à pénétration de sol (Ground Penetrating Radars, GPRs), permettant également de détecter des métaux, se commercialise désormais en appareillage portatif pour la détection de loisirs, comme professionnelle. Le matériel reste toutefois très coûteux. Les profondeurs de détection peuvent atteindre 15 mètres. L'interprétation des résultats est très délicate et ces appareils ne doivent être utilisés que par des spécialistes.

1.7. Différents types de métaux

La sensibilité d'un détecteur de métal est différente selon les types de métaux. Pour simplifier, nous avons classé tous les métaux en trois types de catégorie :

1.7.1. Métaux ferreux

Tout métal attiré facilement par un aimant (acier, fer, etc...). D'habitude, c'est le métal le plus facile à détecter et généralement, le plus commun des contaminants à détecter.

1.7.2. Métaux non-ferreux

Métaux non magnétiques hautement conducteurs (cuivre, aluminium, laiton, etc...). Lorsque des produits secs sont inspectés, ces métaux produisent presque le même signal que s'ils étaient ferreux en raison du fait qu'ils sont de bons conducteurs. Lorsque des produits humides sont inspectés, augmenter la dimension de la sphère d'au moins 50%.

1.7.3. Acier inoxydable non magnétique

Acier inoxydables de haute qualité des séries 300 (type 304, 3016). Ce sont des métaux toujours plus difficiles à détecter en raison de leur pauvre qualité de conductivité électrique, et par définition ils possèdent une basse perméabilité magnétique. Lorsque des produits secs sont inspectés, une sphère inoxydable devrait être de 50% plus grande qu'une sphère ferreuse pour produire un signal de la même intensité. Lorsque des produits humides sont inspectés, une sphère inoxydable devrait être de 200 à 300% plus grande qu'une sphère ferreuse pour produire un signal de la même intensité.

Chapitre2 : Simulation et réalisation pratique

2.1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons une description détaillée de la réalisation pratique adoptée pour répondre aux spécifications de notre cahier de charge et en abordant la conception détaillée de chaque partie du système afin d'obtenir une schématisation, simulation et réalisation complètes et précises du notre système

2.2. Logiciels utilisés

Dans ce paragraphe, on va présenter en premier lieu le logiciel Proteus utilisé pour la simulation du circuit électronique du détecteur de métaux à réaliser. Ce détecteur, qui est piloté par un microcontrôleur, nécessite un programme en langage C pour qu'il soit fonctionnel. Ce programme est édité dans l'environnement de programmation et de compilation MikroC PRO. Pour cela, nous avons introduit brièvement ce compilateur et expliqué ainsi les différentes étapes d'édition et de compilation de programmes dans cet environnement.

2.2.1. Le simulateur Proteus

Proteus est une suite logicielle destinée à l'électronique, développé par la société Labcenter Electronics. Cette suite logicielle est très connue dans le domaine de l'électronique. De nombreuses entreprises et organismes de formation (incluant lycées et universités) utilisent cette suite.

Proteus est composé de deux logiciels principaux : ISIS, permettant entre autres la création de schémas et la simulation électrique, et ARES, destiné à la création de circuits imprimés.

Proteus est composé de deux logiciels principaux : ISIS et ARES.

A. ISIS

Le logiciel ISIS de Proteus est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus

grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits.

Grâce à des modules additionnels, ISIS est également capable de simuler le comportement d'un microcontrôleur (PIC, Atmel, etc.) et son interaction avec les composants qui l'entourent.

En plus des PICs, ISIS peut simuler une variété de dispositifs numériques et/ou analogiques, comme les afficheurs sept segments, les afficheurs LCD alphanumériques ou graphiques, les capteurs de température, de gaz, d'humidité, la pression, etc. Il peut aussi simuler les actionneurs tels que les moteurs à courant continu, les servomoteurs, les lampes à incandescence, etc. Il est possible de simuler des périphériques d'entrée et de sortie comme les claviers, ordinateur et les ports physiques tels que RS232 et USB. Ce simulateur a une grande variété d'instruments de mesure tels que voltmètres, ampèremètres, oscilloscopes et analyseurs de signaux.

En résumé, ces caractéristiques font d'ISIS de Proteus, un outil très puissant pour la conception et l'étude des différents circuits et montage électronique quel que soit leur degré de complexité. Une version de démonstration du logiciel peut être téléchargée à partir du site web: www.labcenter.com.

Sur la photo suivante, on peut voir la page d'accueil de l'environnement de développement d'ISIS :

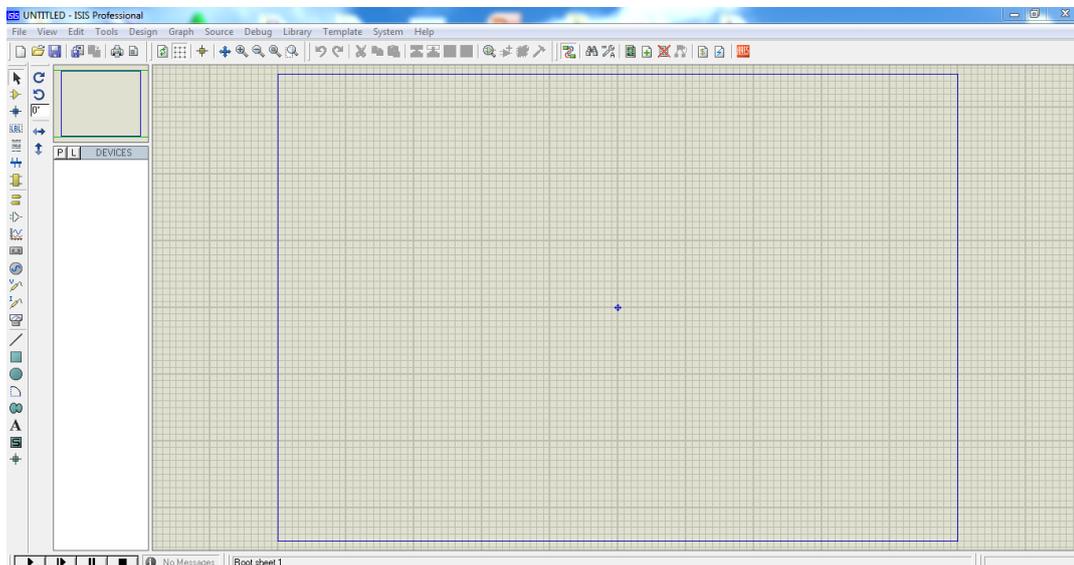


Figure 2.1 – Page d'accueil du logiciel ISIS

B. ARES

Le logiciel ARES est un outil d'édition et de routage qui complète parfaitement ISIS. Un schéma électrique réalisé sur ISIS peut alors être importé facilement sur ARES pour réaliser le circuit imprimé (Printed Circuit Board, PCB) de la carte électronique. Bien que l'édition d'un circuit imprimé soit plus efficace lorsqu'elle est réalisée manuellement, ce logiciel permet de placer automatiquement les composants et de réaliser le routage automatiquement.

2.2.2. Le compilateur MikroC PRO

La programmation des microcontrôleurs est basée sur le code machine, qui est connu comme code assembleur, ce code contient les instructions du programme, le code assembleur est bien détaillé et difficile à écrire. Le programme en code assembleur est très long et difficile à comprendre.

La création des compilateurs de haut niveau a rendu facile la création et l'édition de programmes, bien entendu les microcontrôleurs ne font pas exception. Dans le commerce, il y a plusieurs variétés de compilateurs des différents fabricants et avec différents langages de haut niveau. On peut citer par exemple les compilateurs PICC, CCS, PIC Basic, etc.

Dans ce projet de fin d'étude, on a utilisé le compilateur MikroC PRO, qui est un compilateur de langage C pour les microcontrôleurs PICmicro famille 12F, 16F, 18F etc. Ce compilateur utilise des structures, facilite la programmation, optimise les opérations mathématiques, et les processus grâce à l'utilisation des fonctions prédéfinies et celles créées par le développeur lui-même. Le compilateur génère automatiquement le code assembleur et l'enregistre dans un fichier avec l'extension *.Hex. Ce fichier est le résultat principal de la compilation, avec lequel le microcontrôleur sera programmé électriquement ou bien utilisé pour une simulation sur ordinateur.

MikroC PRO est un logiciel avec une grande variété des helps, supports et d'outils, qui facilite la création des projets et des applications pour les microcontrôleurs PICmicro. L'étude de cet environnement de développement est possible, parce que l'étudiant peut télécharger une démo ou version étudiant, qui a les mêmes caractéristiques que la version complète, la seule limite est la taille du code machine ne peut pas excéder 2Koctets, une capacité suffisante pour un premier apprentissage. La version de démonstration peut être téléchargée à partir du site web : www.mikroe.com.

La figure suivante montre l'aspect visuel de l'environnement de développement.

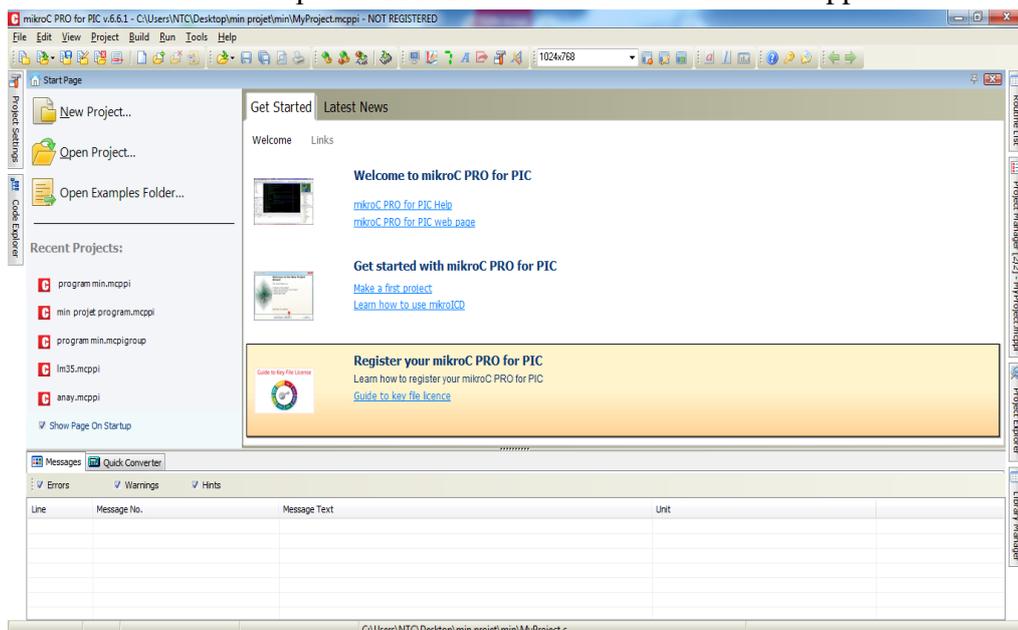


Figure 2.2 - Aspect visuel de l'environnement MikroC Pro

Nous avons également utilisé le module ARES du logiciel Proteus pour réaliser le typon et la visualisation 3D de détecteur de métaux, comme il est illustré sur les figures suivantes.

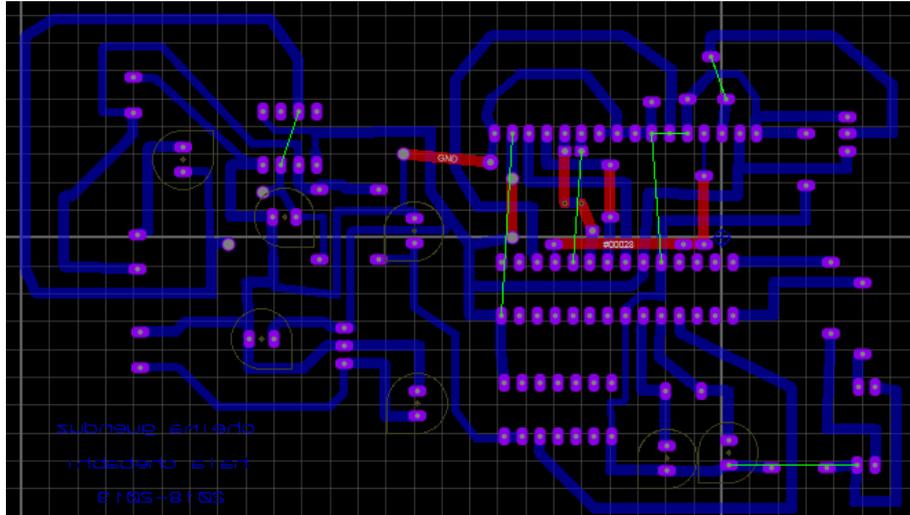


Figure 2.5 – Schéma routé de la carte électronique du détecteur de métaux réalisé sur ARES

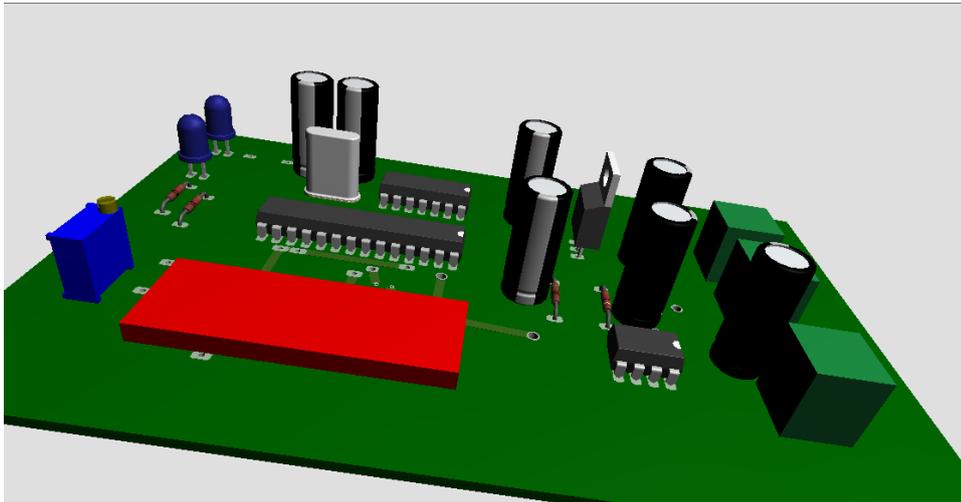


Figure 2.6 – Visualisation 3D du détecteur de métaux

2.3.2. Liste des composants utilisés

Selon le cahier de charge proposé pour réaliser un détecteur de métaux à induction pulsée, les composants électroniques utilisés sont :

- ✓ **Résistances** : R1 = 47K Ω , R2 = 220 Ω , R3 = 220 Ω , R4 = 100 Ω
- ✓ **Potentiomètre** : P1 = 10K Ω .
- ✓ **Condensateurs** : C1 = C2= 22 μ F, C3 = 330 μ F, C4 = C5 1pF, C6 = C7 = 102kF.
- ✓ **Semi-conducteurs** : NE555, PIC16F876, MC14093BCP
- ✓ **Transformateur**
- ✓ **Régulateur LM7805CV**
- ✓ **Buzzer (Bipeur)**

✓ Afficheur LCD 16x2

2.4. Réalisation pratique du détecteur de métaux

Après avoir fini avec la schématisation du circuit sur Proteus nous avons décidé de réaliser le montage du détecteur de métaux. Les Figures 2.7 et 2.8 suivantes présentent le montage du détecteur de métaux réalisé, au cours de ce mini-projet, sur plaque d'essai et sur carte finalisée du circuit imprimé.

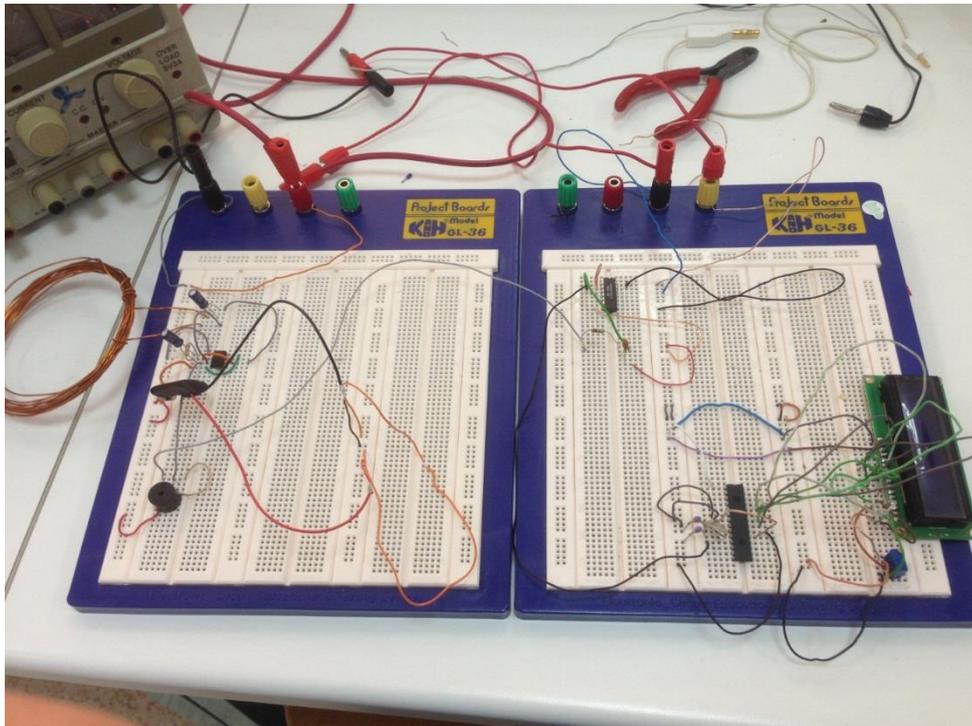


Figure 2.7 – Montage du détecteur de métaux réalisé sur plaque d'essai

Après la mise en place et la soudure des composants, on obtient la carte imprimée comme représentée par les Figures 2.8.

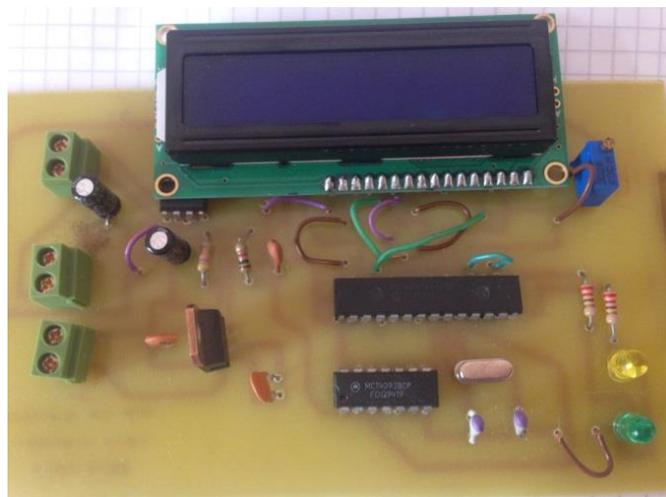


Figure 2.8 – Carte finalisée du détecteur de métaux

Conclusion

L'objectif principal de notre travail concerne la conception et la réalisation pratique d'un détecteur de métaux à base du PIC 16F877A en respectant un cahier de charge imposé. Le logiciel Proteus a été utilisé pour simuler le circuit de ce détecteur. Ensuite, un prototype du montage a été réalisé sur la plaque d'essai. Par la suite, nous avons testé et vérifié le bon fonctionnement du montage qui a montré de bonnes performances de détection lorsque la bobine détectrice est à proximité d'un objet métallique. Les mêmes tests ont été élaborés avec succès sur la carte finale du circuit imprimé.