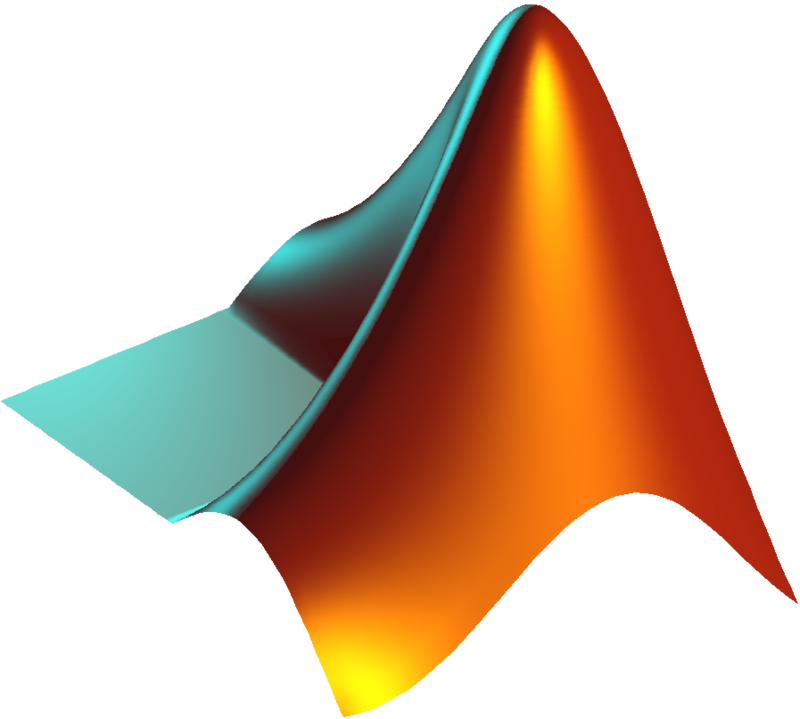
SAE Mesure sans contact d’objets métalliques



Carine Allaf & Pierre Sadeler

BUT GEII – S5

carine allaf

[Nom de la société]

[Adresse de la société]

# Remerciements

Nous exprimons notre gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin au succès de ce projet, ainsi que celles qui ont apporté leur soutien lors de l'élaboration de ce rapport de fin de projet.

En premier lieu, nous tenons à remercier chaleureusement l'équipe pédagogique de GEI1 de l'IUT de Cachan, qui nous a accompagnés tout au long de notre formation et tout au long de ce projet.

Nous souhaitons particulièrement souligner notre reconnaissance envers M. Le Bihan, notre tuteur de projet, qui a su nous guider et nous conseiller tout au long de cette expérience.

De plus, nous exprimons notre sincère gratitude envers Mme Vareille pour ses conseils précieux lors de la rédaction du rapport de projet.

# Résumé

Le programme du Bachelor Universitaire de Technologie en Génie Électrique et Informatique Industrielle inclut plusieurs projets tout au long des trois années de formation. Au cours de la dernière année, un projet final de 12 semaines est intégré au cursus.

Cette période vise à mettre en pratique les connaissances acquises tant sur le plan théorique que pratique au fil de la formation.

Durant ce projet, nous avons concrétisé les enseignements théoriques et pratiques, en mettant particulièrement à l'épreuve nos connaissances en mathématiques, électronique numérique et analogique.

Ce rapport de stage détaillera les diverses réalisations, couvrant notre travail de recherche, et comportera des commentaires détaillés ainsi qu'une analyse approfondie des résultats obtenus.

# Abstract

The Bachelor of Technology in Electrical Engineering and Industrial Computing program includes several projects throughout the three years of study. During the final year, a 12-week final project is included in the course.

The aim of this period is to put into practice the theoretical and practical knowledge acquired throughout the course.

This final assignment report will detail the achievements of the project, covering our research work, with detailed comments and an in-depth analysis of the results obtained.

# Glossaire

Conductivité : Propriété physique qui mesure la capacité d'un matériau à conduire un courant électrique, s'exprime en siemens par mètre (S/m).

Impédance : L'impédance électrique mesure l'opposition d'un circuit électrique au passage d'un courant alternatif sinusoïdal, mesurée en Ohms.

Interface graphique : Moyen visuel permettant à un utilisateur d'interagir avec un ordinateur, un logiciel ou tout autre dispositif électronique.

Interaction capteur-cible : "interaction capteur-cible" fait référence à la relation dynamique entre un capteur et la cible qu'il détecte.

Matlab : Plateforme de calcul numérique et de programmation.

# Liste des sigles

BUT : Bachelor Universitaire de Technologie

GEII : Génie Électrique et Informatique Industrielle

PSM : Phase Sensitive Multimeter

IAI : Impedance Analysis Interface

GUI : Graphical User Interface

R : Résistance

I : Courant électrique

L : Bobine

# Introduction

La mesure sans contact d'objets métalliques revêt une importance significative dans divers domaines tels que l'industrie, la recherche, la sécurité et bien d'autres. Elle offre des avantages en termes de précision, de rapidité et de sécurité, permettant ainsi d'améliorer considérablement les processus existants.

Celui-ci peut avoir des applications dans des domaines variés.

Dans l’industrie pour le contrôle qualité, car les mesures sans contact d'objets métalliques peuvent être utilisées pour la détection de défauts, la mesure de l'épaisseur des matériaux, le tri des pièces et le suivi de la production.

Dans la fabrication de composants électroniques, les mesures sans contact peuvent être utilisées pour inspecter les connexions, les soudures et les circuits imprimés.

Dans l’automobile, les mesures sans contact peuvent être appliquées pour inspecter des pièces métalliques, notamment pour la vérification de la géométrie, de l'épaisseur et de la qualité de la surface.

Notre objectif général se décline en :

**Objectifs spécifiques** : Sont d’obtenir un système de mesure de métaux et une interface graphique permettant de déterminer les paramètres physiques de celui-ci. Pour obtenir la forme, le type de métaux et potentiellement l’épaisseur.

**Objectif opérationnel :** Les résultats concrets à atteindre pour notre projet consistent, dans un premier temps, à obtenir un système physique de mesure avec le PSM3517 et la bobine pour mesurer la conductivité et l'épaisseur de n'importe quel métal. Ensuite, il s'agit d'établir une interface avec un modèle d'interaction capteur-cible sur Matlab, permettant la communication avec le PSM3517 via RS232, ainsi que l'implémentation d'algorithmes d'estimation basés sur les relevés de mesure effectués.

**Objectifs stratégiques :** Concevoir et optimiser le système de mesure sans contact d'objets métalliques en utilisant des bobines, un analyseur d'impédance et une interface RS232.

Nous devons donc développer un système de mesure sans contact d'objets métalliques permettant la détection précise de leurs propriétés électromagnétiques à l'aide de bobines et d’un analyseur de réponse en fréquence PSM1735 mais également d’une interface d'analyse d'impédance IAI, et fournir une interface conviviale pour l'opérateur grâce au protocole de communication RS232.

Table des matières

[Remerciements 1](#_Toc151631152)

[Résumé 2](#_Toc151631153)

[Abstract 2](#_Toc151631154)

[Glossaire 3](#_Toc151631155)

[Liste des sigles 3](#_Toc151631156)

[Introduction 4](#_Toc151631157)

[Tables des illustrations 6](#_Toc151631158)

[1 Objectifs du projet 7](#_Toc151631159)

[1.1 Principaux objectifs 7](#_Toc151631160)

[1.1.1 Découverte du projet 7](#_Toc151631161)

[1.1.2 Utilisation du matériel de mesure 8](#_Toc151631162)

[1.2 Explications des principes physiques 10](#_Toc151631163)

[1.2.1 Conductivité électrique des matériaux 10](#_Toc151631164)

[1.2.2 Courant de Foucault 11](#_Toc151631165)

[1.2.3 Induction électromagnétique 11](#_Toc151631166)

[1.2.4 Loi de Faraday 12](#_Toc151631167)

[1.2.5 Effet de peau 12](#_Toc151631168)

[2 Réalisations du projet 13](#_Toc151631169)

[2.1 Communication RS232 et réglages du PSM+IAI 13](#_Toc151631170)

[2.1.1 Communication en RS232 13](#_Toc151631171)

[2.1.2 Différents protocoles de réglage du PSM+IAI 14](#_Toc151631172)

[2.2 Choix de la fréquence d’utilisation 16](#_Toc151631173)

[2.3 Comparaisons modele / mesures 16](#_Toc151631174)

[3 Interface graphique ??? 17](#_Toc151631175)

[3.1 Interface graphique : GUI 17](#_Toc151631176)

[3.1.1 Création de l’interface graphique primaire 17](#_Toc151631177)

[3.1.2 Protocole de réglage 17](#_Toc151631178)

[3.2 Acquisition des mesures du PSM 17](#_Toc151631179)

[3.3 Mesure de conductivité 17](#_Toc151631180)

[Conclusion 18](#_Toc151631181)

[Conclusion technique 18](#_Toc151631182)

[Conclusion personnelle 19](#_Toc151631183)

[Perspective d’avenir 19](#_Toc151631184)

[Annexe 20](#_Toc151631185)

[Bibliographie 20](#_Toc151631186)

# Tables des illustrations

[Figure 1 : Schéma synoptique 7](#_Toc151631187)

[Figure 2 : Diagramme de Gantt 7](file:///C:\travail\mesures_sans_contact_obj_met\Documentation\structure_plan_rapport.docx#_Toc151631188)

[Figure 3 : Matérielles à disposition 8](#_Toc151631189)

[Figure 4 : Petite et grande bobine 9](file:///C:\travail\mesures_sans_contact_obj_met\Documentation\structure_plan_rapport.docx#_Toc151631190)

[Figure 5 : PSM et IAI 9](file:///C:\travail\mesures_sans_contact_obj_met\Documentation\structure_plan_rapport.docx#_Toc151631191)

[Figure 10 : Tableau conductivité électrique des matériaux 10](#_Toc151631192)

[Figure 11 : Schéma courant de Foucault 11](#_Toc151631193)

[Figure 12 : Schéma induction électromagnétique 11](#_Toc151631194)

[Figure 13 : Schéma communication RS232 13](#_Toc151631195)

[Figure 6 : Pièce supérieur SolidWorks 15](#_Toc151631196)

[Figure 8 : Pièce inférieur SolidWorks 15](#_Toc151631197)

# Objectifs du projet

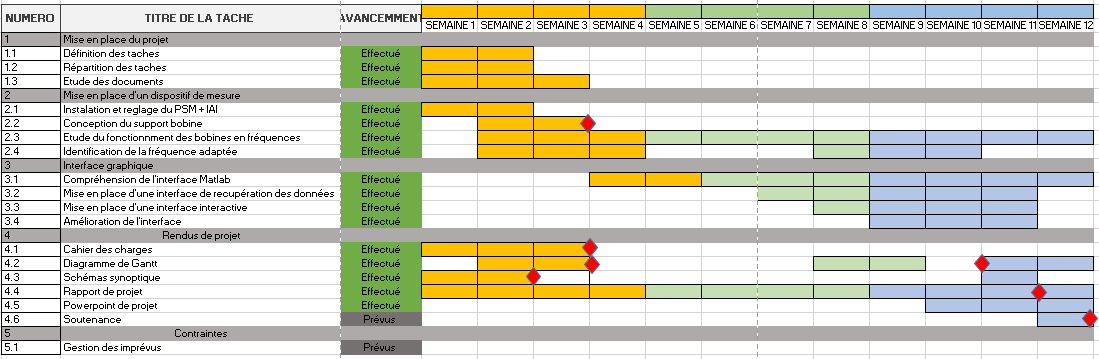
## Principaux objectifs

### Découverte du projet

BLABLABLA

* **A diagram of a process

  Description automatically generated**Schéma synoptique

Figure 1 : Schéma synoptique

* Eléments du cahier des charges

Figure 2 : Diagramme de Gantt

### Utilisation du matériel de mesure

Liste du matériel :

* Bobines Abracon AWCCA 53N53
* 2 bobines Wurth Elektronik 760308101220
* PSM1735 Newtons 4th Ltd
* IAI (Impedance Analysis Interface) Newtons 4th Ltd
* Câble RS232

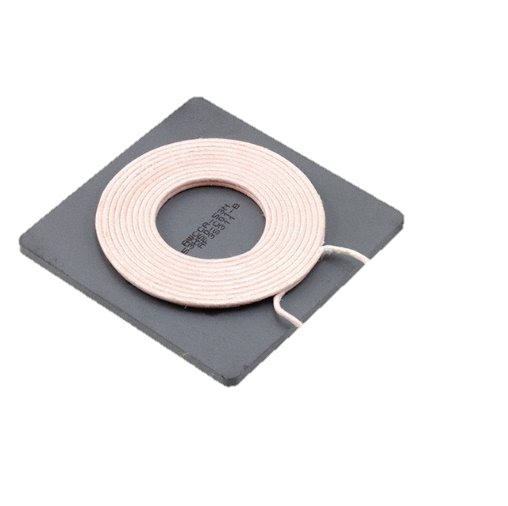
Liste des logiciels :

* Matlab
* SolidWorks
* Pack Office
* Git Hub
* Canva

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Nature des dépenses** | **Références** | **Montants en euros *Toute Taxe Comprise*** | **Montants en euros *Hors Taxes\**** |
| PSM3517 + IAI | N4L | 3 632 | **3 026** |
| Grandes bobines x2 | Wurth Elektronik 760308101105 | 12 | 10 |
| Petites bobine X2 | Wurth Elektronik 760308101220 | 9,17 | 7,64 |
| Câble RS232 | Référence variable | 8 | 6,67 |
| Support bobine | IUT | Prise en charge par l’IUT | Prise en charge par l’IUT |
| Ordinateur + écran | Référence variable | 500 | 416 |
| **Budget global en euros** |  | + 4 170 | + 3 473 |

Figure 3 : Matérielles à disposition

Voici quelques images des objets clés que nous avons d'utilisés tout au long de ce projet :



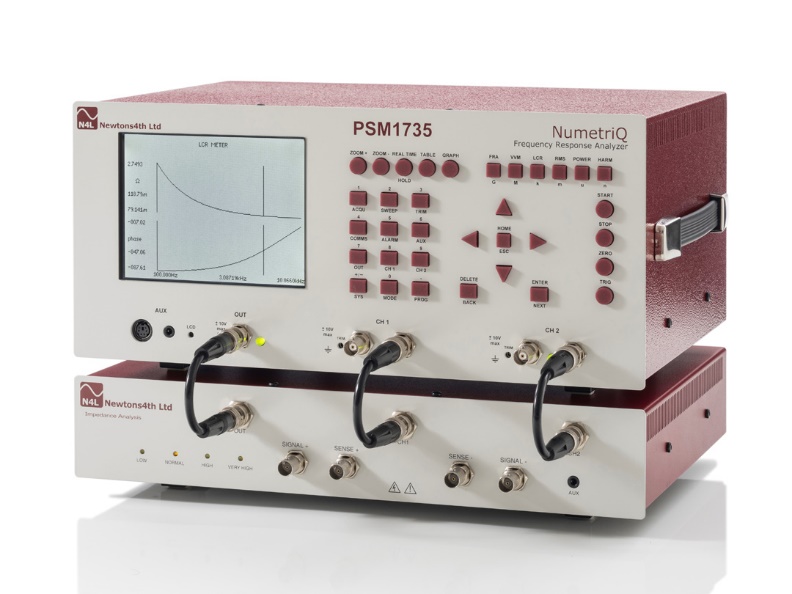


Figure 4 : Petite et grande bobine

Figure 5 : PSM et IAI

PSM1735

IAI

Au cours de ce projet, nous avons à notre disposition divers métaux, notamment :

- Cuivre

- Duralium

- Bronze

- Alliage d’acier

- Alliage de fer

Nous prévoyons d'utiliser ces métaux lors de nos expérimentations et mesures, en spécifiant chaque fois celui que nous employons.

## Explications des principes physiques

Avant d'entamer les aspects concrets du projet, il est essentiel d'établir certains principes physiques fondamentaux afin d'assurer une progression efficace et bien informée du travail à entreprendre.

### Conductivité électrique des matériaux

La conductivité électrique ��caractérise l'aptitude d'un [matériau](https://fr.wikipedia.org/wiki/Conducteur_(%C3%A9lectricit%C3%A9)), à laisser les [charges électriques](https://fr.wikipedia.org/wiki/Charge_%C3%A9lectrique) se déplacer librement et donc permettre le passage d'un [courant électrique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Courant_%C3%A9lectrique). Celle-ci se mesure en siemens par mètre (S/m).

| **Métal** | **Conductibilité électrique (S/m)** |
| --- | --- |
| Argent (Ag) | 6,30 × 107 |
| Cuivre (Cu) | 5,96 × 107 |
| Or (Au) | 4,10 × 107 |
| Aluminium (Al) | 3,50 × 107 |
| Fer (Fe) | 1,00 x 107 |

Figure 10 : Tableau conductivité électrique des matériaux

Lors de la mesure de la conductivité électrique, l'utilisation de métaux magnétiques peut poser des problèmes en raison de leurs propriétés physiques. Les métaux magnétiques ont des propriétés magnétiques qui peuvent interagir avec les champs magnétiques externes et influencer nos mesures de conductivité.

Pour éviter ces complications, nous allons utiliser les métaux non magnétiques cités ci-dessus lors des mesures de conductivité. Ces métaux présentent des caractéristiques électriques plus prévisibles et stables, ce qui facilite l'obtention de mesures fiables et précises de la conductivité électrique.

### Courant de Foucault

[Une force électromotrice](https://byjus.com/physics/electromotive-force/) induite est produite dans la bobine lorsqu'il y a un changement dans le flux magnétique lié à cette bobine. Les courants de Foucault sont ainsi nommés parce qu'ils ressemblent à des tourbillons. Lorsqu'un conducteur est placé dans un champ magnétique changeant, le courant induit dans le conducteur est appelé courant de Foucault.

Lorsque la variation de [flux](https://www.techno-science.net/definition/5135.html) est due à un déplacement du milieu devant un champ magnétique constant, les [courants de Foucault](https://www.techno-science.net/definition/3266.html) sont responsables de l'apparition de forces de Laplace qui s'opposent au déplacement, d'où l'effet de freinage observé.

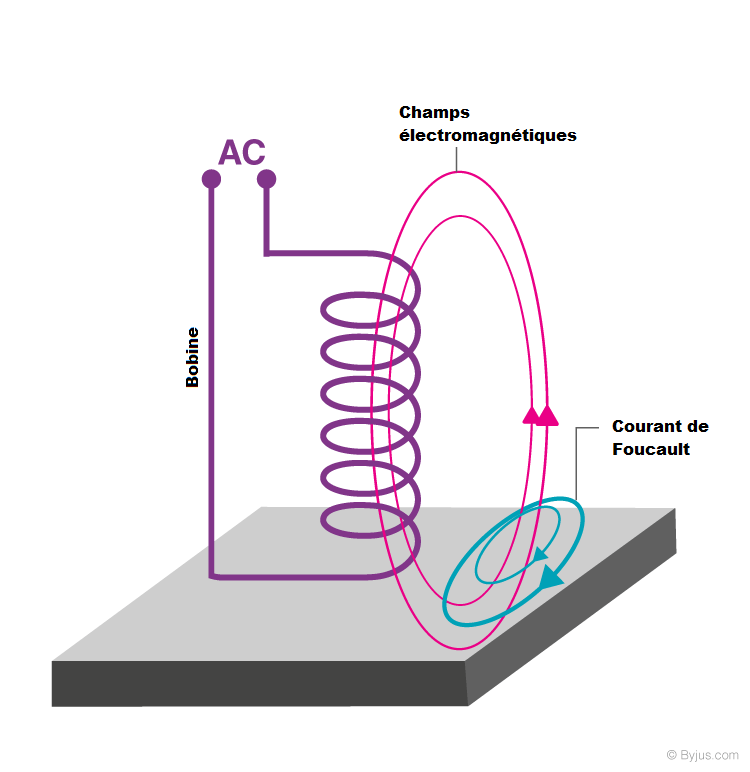
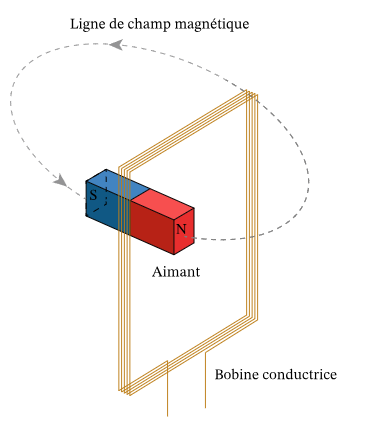


Figure 11 : Schéma courant de Foucault

### Induction électromagnétique

L’induction électromagnétique est un phénomène physique, conduisant à l’apparition d’une force électromotrice dans un conducteur soumis à un flux de champs magnétique variable au court du temps.



Mouvement de l’aimant

Figure 12 : Schéma induction électromagnétique

### Loi de Faraday

La loi de Faraday montre que la force électromotrice induit dans un bobinage fermé et placé dans un champ magnétique est proportionnelle à la variation au cours du temps du flux du champ magnétique qui entre dans le circuit.

Soit

* Avec les détails des grandeurs
* Définitions + schéma

### Effet de peau

Tout en lien avec la loi de Faraday, l'effet de peau ou effet pelliculaire, est un phénomène électromagnétique qui fait que, à fréquence élevée, le courant a tendance à ne circuler qu'en surface des conducteurs.

Soit

Avec : Épaisseur de peau (m),

Fréquence de courant (Hz)

µ Permabilité magnétique (H/m)

Conductivité électrique (S/m)

+ Schéma

# Réalisations du projet

## Communication RS232 et réglages du PSM+IAI

### Communication en RS232

Le RS-232, est un protocole de communication série utilisé pour la transmission de données entre des dispositifs électroniques.

Voici quelques avantages de l'utilisation du RS-232 :

Universalité : Le RS-232 est un standard établi et largement adopté dans l'industrie, ce qui signifie que de nombreux dispositifs électroniques.

Simplicité : Le protocole RS-232 est relativement simple à mettre en œuvre avec le PSM1735 et l’IAI.

Cependant, il est important de noter que le RS-232 présente certaines limites, notamment en termes de vitesse de transmission (baud rate) par rapport à des technologies plus récente comme l'USB. Pour ce projet nous utiliserons le RS232 a une vitesse de transmission de 19600 baud rate.

Voici le schéma fonctionnel du RS-232 en action, illustrant la connexion entre l'ordinateur et le module de commande PSM IAI :

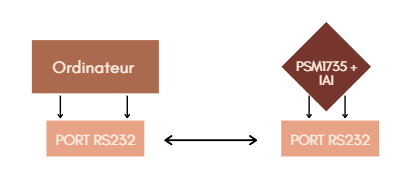


Figure 13 : Schéma communication RS232

### protocole de réglage du PSM+IAI

*Protocole de réglage du PSM1735 + IAI en manuelle*

1. Connecter le PSM1735 et l’IAI grâce à une NAP sur le port « EXTENSION »

\*Pour établir la connexion

1. Les mettre sous tension grâce au câble d’alimentation
2. Sur le PSM aller dans le menu « AUX » et choisir « IAI » LCD shunt -> NORMAL

\*Allumage de la Led « NORMAL » sur l’IAI

1. Aller dans le menu « OUT » du PSM, et mettre la sortie « OUT » sur « ON »

\*Allumage de la Led « OUT » sur le PSM

1. Toujours dans le menu « OUT » régler la fréquence (dans notre cas on fixe la fréquence à 33kHz)
2. Aller dans le menu « LCR » pour observer les résultats

Pendant nos mesures, la mise en place de la bobine et la mesure précise des différents métaux étaient des tâches complexes. Avec l’aide de M. Pénard, nous avons élaboré un support dédié pour la bobine, confectionné directement au sein de l'IUT. Cette nouvelle structure en bois améliorera la stabilité des mesures.

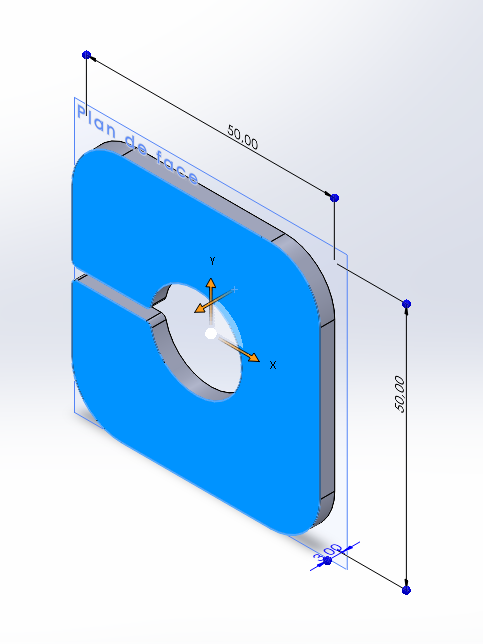
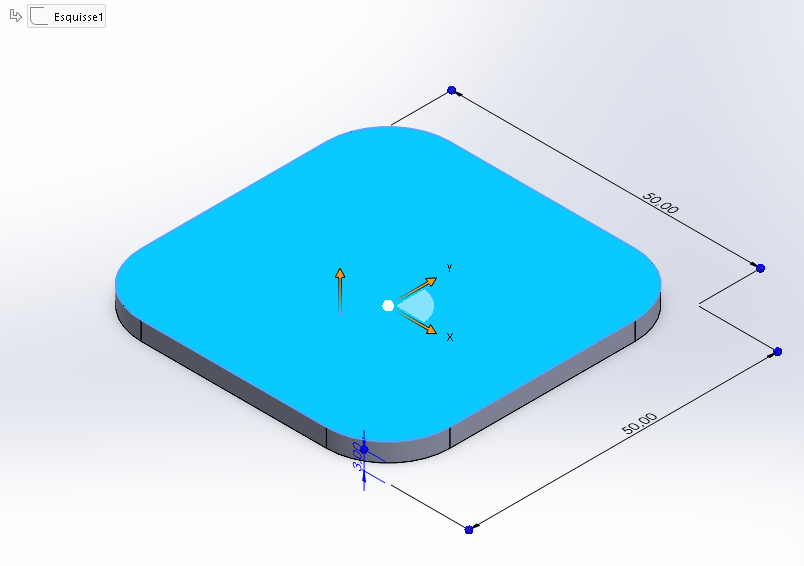
 

Figure 6 : Pièce supérieur SolidWorks

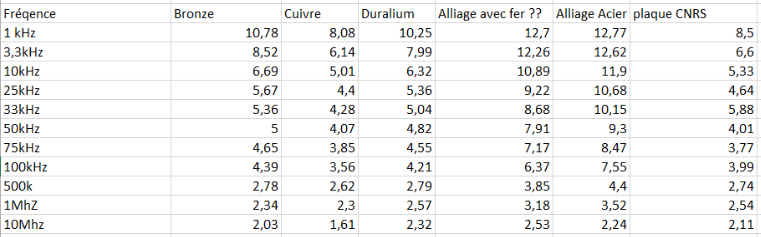
Figure 8 : Pièce inférieur SolidWorks

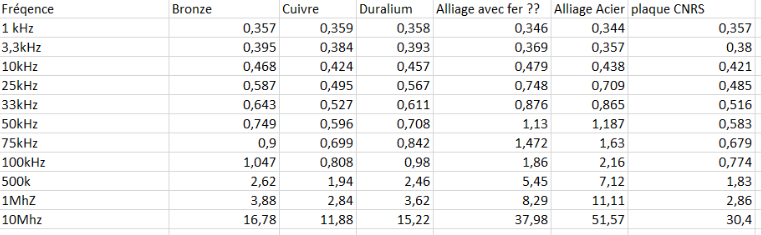
## Choix de la fréquence d’utilisation

Après avoir compris et optimisé les paramètres du PSM et de l'IAI, nous avons initié des mesures d'inductance et de résistance afin d’explorer les réponses variées des métaux en fonction de la fréquence. Compte tenu de notre manque de connaissance sur les comportements fréquentiels des métaux, nous avons choisi d'effectuer 11 points de mesure, couvrant la plage de fréquences de 1 kHz à 1 MHz.

Voici donc nos résultats :

*Inductance*



*Résistance* 

* Explications choix de fréquence plus justesse des mesures avec la théorie
* Courbe de Matlab

## Comparaisons modele / mesures

* Explications de la justesse entre le modelé donné par le prof et les mesures faites.

# Interface graphique ???

## Interface graphique : GUI

### Protocole de réglage

Dans un premier temps, nous avons ajusté manuellement le PSM et l'IAI en utilisant les commandes disponibles sur l'appareil. Cependant, dans le but d'automatiser l'ensemble du processus, nous avons élaboré un protocole de réglage sur Matlab.

Les commandes ci-dessous sont extraites du livre "N4L Communication Manuals".

*Protocole de réglage du PSM1735 + IAI via Matlab*

\*MODIFIER LE BAUDRATE EN MANUELLE ET LE AUX FIXTURE

s=serial ('COM1','BaudRate', 9600,'Terminator','CR/LF') ;

CR= Retour chariot

LF =Line Feed

Débits en Bds

Port de connexion

\*Création de notre liaison série avec paramètres

fopen(s);\*Ouverture de la communication RS232/PSM+IAI

fprintf(s,'OUTPUT,ON'); \*Agit sur le Menu OUTPUT du PSM et active la sortie

fprintf(s, 'FREQUE, 3.3e4’); \*Agit sur la fréquence du PSM et fixe la fréquence à 33kHz

fprintf(s,'LCR?'); \*Fonction pour avoir un retour de valeur du LCR

Val=fscanf(s) ;\*Acquisition des valeurs du PSM

fclose(s);\*Fermeture de la communication RS232/PSM+IAI

### Création de l’interface graphique primaire

* Introduction aux parties de l’interface graphique
* Introduction aux codes des BP, EditText etc…
* Comment lier les caractéristiques de l’interface graphique, avec le code de réglage

## Acquisition des mesures du PSM

## Mesure de conductivité

Pour mesurer la conductivité de notre matériau plusieurs variables entre en compte, tel que les caractéristiques de la bobine, la fréquence d’utilisation et dimensions des matériaux.

### fminsearch

# Conclusion

## Conclusion technique

*Ce qu’on a fait :*

Au cours de ce projet, nous avons initié notre démarche en consacrant une phase préliminaire à l'étude approfondie de notre sujet. Cette étape a été suivie de recherches approfondies sur les principes physiques fondamentaux liés au projet.

Par la suite, nous avons pris en main le PSM et l'IAI, élaboré un protocole détaillé pour l'initialisation et les réglages, et nous sommes concentrés sur la caractérisation des différents métaux.

L'utilisation du PSM et de l'IAI nous a permis de recueillir des données précieuses, notamment la création de tableaux de mesures en fonction de la fréquence pour chaque métal.

Parallèlement, notre travail s'est étendu à l'utilisation de Matlab. Dans un premier temps, nous avons exploré la manipulation du PSM via le logiciel, puis nous avons étudié la récupération, l'affichage et le traitement des valeurs obtenues. Enfin, nous avons développé une interface graphique dynamique.

Une fois ces étapes accomplies, nous avons entreprit des recherches spécifiques sur la conductivité et son intégration dans Matlab.

*Ce qu’on n’a pas fait :*

*Comment on aurait pu le faire :*

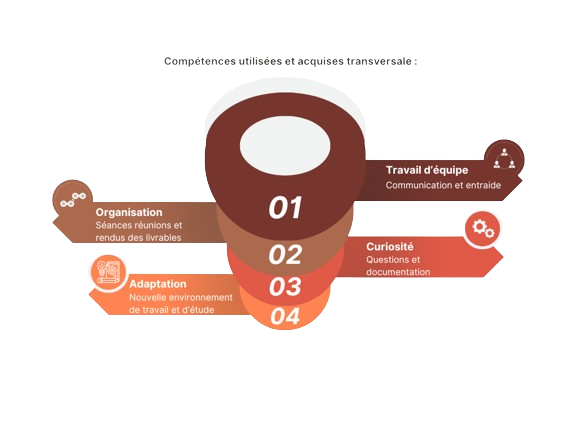
+ Synthèse

## Conclusion personnelle

Carine :

En conclusion, ce projet a été une bonne expérience. En fusionnant la programmation et l’électronique avec les principes fondamentaux de la physique, il s'est révélé être un projet très complet. Au cours de celui-ci, j'ai pu non seulement développer mes compétences techniques, mais aussi approfondir ma compréhension des principes physiques sous-jacents. De plus, il m'a offert une perspective concrète sur les implications pratiques de la mesure sans contact.

Pierre :



## Perspective d’avenir

De nombreuse perspective d’avenir sont en vue pour la

Industrie manufacture et contrôle qualité :

* Les mesures sans contact d'objets métalliques peuvent être utilisées pour le contrôle de la qualité, la détection de défauts, la mesure de l'épaisseur des matériaux, le tri des pièces et le suivi de la production dans l'industrie manufacturière.

Électronique :

* Dans la fabrication de composants électroniques, les mesures sans contact peuvent être utilisées pour inspecter les connexions, les soudures et les circuits imprimés.

Automobile :

* Les mesures sans contact peuvent être appliquées à l'inspection des pièces métalliques dans l'industrie automobile, notamment pour la vérification de la géométrie, de l'épaisseur et de la qualité de la surface

# Annexe

# Bibliographie

TECHNIQUE :

Loi de faraday :[http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/electri/faraday.html#:~:text=La%20loi%20de%20Faraday%20dit,%3D%20%E2%88%92%20d%CE%A6%20%2F%20dt](http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/electri/faraday.html" \l ":~:text=La%20loi%20de%20Faraday%20dit,%3D%20%E2%88%92%20d%CE%A6%20%2F%20dt)).

Effet de peau :<https://en.wikipedia.org/wiki/Skin_effect>

Capteur à courant de Foucault :<https://www.pm-instrumentation.com/mesure-par-courant-de-foucault>

Conductibilité électrique :<https://www.alloprof.qc.ca/fr/eleves/bv/sciences/la-conductibilite-electrique-s1021>

PSM1735 :<https://www.newtons4th.com/products/frequency-response-analyzers/psm1735-frequency-response-analyzer/>

PSM1735 Brochure :<https://www.newtons4th.com/media/docs/D000189-PSM1700-1735-Brochure.pdf>

IAI :<https://www.newtons4th.com/products/impedance-analyzers/impedance-analysis-interface/>

Datasheet petite bobine :<https://www.we-online.com/components/products/datasheet/760308101220.pdf>

Courbe sur Matlab :<https://fr.mathworks.com/help/matlab/learn_matlab/basic-plotting-functions.html>

Rs232 schéma Matlab :<https://fr.mathworks.com/help/slrealtime/io_ref/serial-drivers.html>

Mesure :[https://www.helmut-fischer.com/fr/techniques/induction-magnetique#:~:text=La%20sonde%20de%20mesure%20%C3%A0,p%C3%B4les%20du%20noyau%20de%20fer](https://www.helmut-fischer.com/fr/techniques/induction-magnetique" \l ":~:text=La%20sonde%20de%20mesure%20%C3%A0,p%C3%B4les%20du%20noyau%20de%20fer).

Détection métaux :<https://megalocators.com/fr/quest-ce-que-linduction-dimpulsions-pi-dans-la-detection-de-metaux-et-quand-utiliser-le-detecteur-de-metaux-pi/>

<https://moineau-instruments.com/content/19-detecteur-de-metaux>

AUTRES :

Sitographie exemple :<https://saintcharles-laprovidence.basecdi.fr/pmb/Dossier_portail/TPE_fiches_methode/comment_faire_une_sitographie.pdf>