



Département de Maintenance en Instrumentation Industrielle

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Ingénierie de la Maintenance en Instrumentation

Thème

Multimètre Intelligent

Présenté et soutenu publiquement par :

TOUATI CHAHRAZED

Devant le jury composé de :

Nom et prénom	Grade	Etablissement	Qualité
GUENDOUZ Djilalia	Professeur	IMSI-Univ d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed	Encadrant
NEKROUF Djilali	MAA	IMSI-Univ d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed	Examineur
METAHRI Dhiyaeddine	MCB	IMSI-Univ d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed	Président

Année universitaire 2023/2024

Sommaire

- Résumé.....	
- Dédicace.....	
- Remerciement.....	
- Liste des figures.....	
- Liste des tableaux.....	
- Glossaire.....	
- Introduction générale.....	1
- Chapitre I : Etude préalable : Notions générales sur la maintenance	
- Introduction.....	3
- Notions sur la maintenance.....	3
- I.1) Concept et terminologie	3
- I.2) La défaillance	7
- I.2.1) Définition de la défaillance	7
- I.2.2) La classification de la défaillance	7
- I.2.3) Les causes de défaillance	9
- I.2.4) Conséquences de la défaillance	9
- I.3) Généralités sur la maintenance	10
- I.3.1) Définition de la maintenance	10
- I.3.2) Le rôle et les objectifs de la maintenance	10
- I.3.3) Les types de maintenance	10
- II) La supervision industrielle	13
- II.1) Définition de la supervision industrielle	13
- II.2) Les tâches de supervision	13
- II.3) Les erreurs de diagnostic liées au manque de connaissances techniques ..	14
- II.3.1) Le diagnostic des pannes électronique	14
- II.3.2) Les stratégies pour éviter les erreurs de diagnostic en cas de panne électronique	15
- Conclusion	16
- Chapitre II : L'appareil de Maintenance et de Supervision : Le multimètre numérique.....	

- Introduction	18
- Etat de l'art sur le Multimètre	18
- I.1) La définition du multimètre.....	18
- I.2) Les catégories de multimètres.....	18
- I.3) L'historique de multimètre	21
- Le multimètre numérique.....	22
- II.1) Les caractéristiques du multimètre numérique	22
- II.1.1) Les caractéristiques d'alimentation	22
- II.1.2) Les caractéristiques de sécurité	22
- II.1.3) Les caractéristiques techniques	24
- L'impact économique du multimètre	31
- Conclusion	31
- Chapitre III : Conception du projet	
- Introduction	33
- Matériels et équipements de réalisation	33
- I.1 Moniteur à écran tactile.....	33
- I.2 Circuit électronique Raspberry pi 4	34
- I.3 Outil de programmation et accessoires.....	35
- La conception graphique	37
- II.1 Le logo	37
- II.2 Le design du produit	37
- II.3 L'interface utilisateur UI/UX.....	37
- II.3.1 Interface UI	38
- II.3.2 Interface UX	38
- II.3.3 Le logiciel Figma	38
- II.4 Le design de l'interface des icônes avec Figma	39
- II.4.1 L'interface UI/UX principale	39
- II.4.2 Le contenu des icônes	40
- II.4.2.1 L'icône de la résistance	40
- II.4.2.2. L'icône du condensateur	42
- II.4.2.3) L'icône de mesure	44

- II.4.2.4) L'icône de tableau d'appareillage électrique et des composants électronique	45
o Le tableau des composants électronique	45
o Le tableau de l'appareillage électrique	48
- La conception technique	49
- III.1 Le nano-ordinateur monocarte Raspberry pi	49
- III.1.1) Qu'est-ce qu'un Raspberry Pi	49
- III.1.2) Les caractéristiques techniques de Raspberry Pi 4 model B	49
- III.2 Les caractéristiques techniques du moniteur tactile Waveshare 7 pouces.50	
- III.2.1) Dimensions du moniteur tactile Waveshare 7 pouces.....	50
- III.2.2 Structure du moniteur tactile Waveshare 7 pouces	51
- Les organigrammes d'utilisation des icones "UX"	51
- IV.1. L'organigramme de menu principal	51
- IV.2 L'organigramme du choix de l'icône de résistance	53
- IV.3. L'organigramme du choix de l'icône du condensateur	54
- IV.4 L'organigramme du choix de l'icône des tableaux de l'appareillage électrique et des composants électronique	55
- IV.5 L'organigramme du choix de l'icône de mesure	56
- Conclusion	57
- CHAPITRE IV : Réalisation du projet	
- Introduction	59
- Réalisation du dispositif	59
- Configuration de l'écran Waveshare HMDI (H) 7 pouces.....	60
- II.1 Présentation du logiciel 'Raspberry pi imager	60
- II.2 Utilisation du Raspberry Pi Imager	62
- II.3. Le code de configuration	64
- II.4. Synoptique de programmation du Raspberry Pi	66
- Compilation et réalisation.....	66

- II.1. Arduino Nano	66
- II.1.1 Définition	66
- II.1.2 Les caractéristiques techniques	67
- II.1.3 Le rôle de l'Arduino Nano dans le projet	68
- II.1.3.1 Le rôle principale	68
- II.1.3.2 La communication UART	68
- II.2 Le circuit imprimé de notre multimètre	71
- II.2.1 La définition du circuit imprimé	71
II.2.2 Pourquoi le PCB pour notre projet ?	71
- II.2.3 Le logiciel KiCad pour la conception du circuit imprimé	72
- II.2.4 Les schémas électronique du circuit imprimé conçu avec KiCad	73
- II.2.5 Les étapes d'assemblage de PCB	76
- II.2.6 Le langage utilisé pour la programmation du PCB	77
- II.2.7 Le code de la programmation de PCB	77
- II.3 L'application de bureau	80
- II.3.1 Le Framework "Tauri" pour l'écriture des codes	80
- II.3.2 Les langages de programmation de l'application	80
- II.3.2.1 RUST	80
- II.3.2.2 JS	81
- II.3.2.3 HTML	82
- II.3.3 Le code de programme de l'application	84
- II.4 Assemblage finale de matériels programmés	85
- II.5 Le teste de multimètre	85
- II.5.1 Évaluation de la précision des mesures	85
- II.5.2 Test de fonctionnalité de la communication UART	87
- Conclusion	89
- Conclusion générale	90
- Bibliographie.....	91

RESUME

L'objectif principal de ce mémoire de master académique dans le cadre d'arrêté ministériel 1275 est de concevoir et de mettre en œuvre un modèle de multimètre intelligent doté d'un écran tactile, tout en optimisant les coûts. La réalisation implique la programmation du Raspberry Pi pour l'application mobile et du circuit imprimé pour assurer la polyvalence du multimètre. Plusieurs technologies seront intégrées pour répondre aux besoins des clients et garantir leur sécurité. Grâce à son écran tactile de 7 pouces avec un angle de vision de 178 degrés, ce multimètre offrira un design ergonomique et une utilisation conviviale. L'intelligence artificielle sera également intégrée pour faciliter l'utilisation, bien que cela entraîne une consommation énergétique élevée. Pour cette raison, nous avons choisi le Raspberry Pi et l'écran Waveshare en raison de leurs caractéristiques avancées, conformes à nos recherches bibliographiques et techniques, et répondant aux besoins de nos clients.

ABSTRACT

The main aim of this academic master's thesis within the framework of a ministerial decree is to design and implement a model of a smart multimeter with a touchscreen while optimizing costs. The implementation involves programming the Raspberry Pi for the mobile application and the printed circuit board to ensure the multimeter's versatility. Several technologies will be integrated to meet clients' needs and ensure their safety. With its 7-inch touchscreen offering a 178-degree viewing angle, this multimeter will provide an ergonomic design and user-friendly experience. Artificial intelligence will also be integrated to facilitate use, although this will result in higher energy consumption. For this reason, we have chosen the Raspberry Pi and the Waveshare screen due to their advanced features, which align with our bibliographic and technical research and meet the needs of our clients.

الملخص

الهدف الرئيسي من أطروحة الماجستير الأكاديمية في إطار القرار الوزاري 1275 هو تصميم جهاز قياس متعدد ذكي مزود بشاشة تعمل باللمس ، و ذلك عبر برمجة تطبيق هاتف يساعد على التعرف على مختلف المكونات الإلكترونية مع بعض عمليات الحساب الضرورية ، كما سيتم تصميم دائرة مطبوعة ودمجها مع المعالج الدقيق الخاص بـ "راسبيري" ، مع ضمان تكاليف مناسبة لجهاز القياس ، يتطلب إنجاز هذا المشروع برمجة كل من المعالج الدقيق و الدائرة المطبوعة التي تقوم بعمليات القياس الإلكترونية الخاصة بجهاز القياس المتعدد. سيتم دمج العديد من التقنيات الإلكترونية المتطورة لتلبية احتياجات العملاء و ضمان سلامتهم . بفضل شاشة اللمس التي بمقاس 7 بوصات و زاوية رؤية 178 درجة ، سيكون تصميم جهازنا مريحاً نظرياً

و سهل الاستخدام تقنيا ، و بفضل الذكاء الاصطناعي ، سيكون من السهل التأقلم على استخدام جهاز القياس المتعدد مع ما يقدمه للمستخدم من خدمات و مع كل هاته التقنيات المدمجة في منتجنا ، سيؤدي ذلك إلى استهلاك طاقة كبيرة ، لهذا السبب اخترنا المعالج الخاص ب "راسبيري" و شاشة "وايفشير" ، نظرا لميزاتهم المتطورة و التي تتماشى مع أبحاثنا التقنية و كذا مع التطورات العلمية و التكنولوجية المستقبلية

Dédicace

C'est avec une profonde tristesse et une immense émotion que je dédie ce mémoire à Monsieur **CHAREF Djilali**, mon cher professeur, dont le soutien constant et les conseils avisés ont été une source inestimable d'inspiration tout au long de ce parcours. Son dévouement exemplaire, sa sagesse éclairante et sa bienveillance infinie ont laissé une marque indélébile dans ma vie académique et personnelle.

Que son âme repose en paix. Ses enseignements continueront de rayonner à travers le travail et les réussites de tous ceux qu'il a touchés.

Avec toute ma reconnaissance, je présente mes plus sincères condoléances à sa famille et à ses proches. Qu'Allah lui accorde la paix éternelle.

Que son âme repose en paix et que sa mémoire soit une bénédiction

Vous resterez à jamais dans nos cœurs

Remerciement

أما قبل فأستهلُّ بشُكره و حمده عز و جل على فضله
فلولا كرم مَلِكِ الأَقْوام ما كنت لأعلو في المقام
فالحمد لله حمدا طيبا تغدو بذكره الأفتدة رطباً
و دين والداي فلن أوفي و لو أَدَمَيْتُ بالتدوين كَفَي
هما ثالث الحنان و الرَّأف و درعي من الأيام الجُحفِ
فأللهم رب الأرض و السماوات ارفع والداي لأعلى الدرجات
إلى من أشرقت في جنح الدُّجى و أقامت ما كان بي أعرج
أختي مثنوي و مأمني و مسكني في الحزن و المِحْن
إلى الذي يراه الليث فينقبض فؤاده لِمروءته و يعترض
كيف ذا إنس ذو مهابة يَنْهَبُنِي كل رَمَق و نظرة
هو الشهم أخي و من غيره لم يُرى ند له ولا شَبَه
و صديقة الطفولة و الصِّبا سُلّاف من الوريد أقرَب
لا العنقاء خالدة إنما أَلْقُتْنا و عَزَي لها أَدوم
إلى إيناس الروح و القلبِ طيبة الوجدان المتعبِ
أدام الله عليك السُرورَ و جعل رزقك ميسورا
وهيبة و شيماء ابنتا الخال و في المقام ملكتا الوصال
جزاؤهما لي بالذكر أجدرُ فقد كانتا للتحفيز مصدرُ
عبد الرحمان و رانية الرفيقان وجودهما إذعان للأمان
من رجة أضحى و هَمٍّ مُذَلِّهم إلى سَكينة القلب و نبض منتظم
إلى ناجي أطيب الأنام مَبْعَث العلم و الإقدام
لدوره من اسمه نصيب لولاه ما اكتمل الوهن و لا التجريب
ختاما بمؤطرتي مرافقتي في التعب و نهاية مسيرتي
عسى عز و جل أن يغدقك من رزقه و يُدخلك الجنة برحمته
حتى لا ننسى

لا سمح الله للعُفُول و من فرط في مسرى الرسول
فأللهم يا ملك يوم الدين أغث إخواننا في فلسطين

Liste des figures

- Figure I.1 : Ordonnancement des anomalies selon leur criticité.....	7
- Figure I.2 : Défaillance -causes et effets.	9
- Figure I. 3 : Classification des types de maintenance.	11
- Figure I.4 : Les types de la maintenance préventive.	12
- Figure I. 5 : Les différentes étapes de la supervision.	13
- Figure II. 1 : Le multimètre analogique.	19
- Figure II.2 : DMM de laboratoire.	20
- Figure II.3 : DMM de poche.	20
- Figure II.4 : Le galvanomètre.	21
- Figure II.5 : DMM 8020A.	22
- Figure II.6 : DMM 12....	22
- Figure II.7 : DMM GLADTOP.....	22
- Figure II.8 : Attention, risque de danger.....	23
- Figure II.9 : Attention, risque de choc électrique.....	23
- Figure II.10 : Exemple d'une pièce d'un multimètre.....	24
- Figure II.11 : Le commutateur.....	25
- Figure II.12 : Affichage de l'écran du sous-menu.....	27
- Figure II.13 : Les sondes de test.....	30
- Figure II.13 : Sondes thermocouple.....	31
- Figure III.1 : Le logo de produit.....	37
- Figure III.2 : Logo du logiciel Figma.....	38
- Figure III.3 : Le menu principal de l'interface Utilisateur (UI).....	39
- Figure III.4 : Structure interne de la résistance au carbone.....	40
- Figure III.5 : Codage d'une resistance par des couleurs.....	40
- Figure III.6 : UX de la résistance.....	42
- Figure III.7 : La structure interne d'un condensateur.....	43
- Figure III.8 : Photo réelle d'un condensateur céramique.....	43
- Figure III.9 : UX du condensateur.....	44
- Figure III.10 : UX du process de mesure	45
- Figure III.11 : Caractéristiques techniques de Raspberry pi 4 model B.....	50
- Figure III.12 : Les dimensions de l'écran.....	50
- Figure III.13 : La face arrière de l'écran.....	51
- Figure III.14 : L'organigramme du menu principal.....	52
- Figure III.15 : L'organigramme de choix de l'icône de résistance.....	53
- Figure III.16 : L'organigramme de choix de l'icône du condensateur.....	54
- Figure III.17 : L'organigramme de choix de l'icône des tableaux de lecture des composants électronique.....	55
- Figure III.18 : L'organigramme de choix de l'icône de mesure.....	56
- Figure IV.1 : La vue de face du produit.....	60
- Figure IV.2 : La vue de dessus du produit.....	60
- Figure IV.3 : La page du site officiel de Raspberry pi OS.....	62

- Figure IV.4 : La fenêtre d'installation de Raspberry pi Imager.....	62
- Figure IV.5 : Le système d'exploitation du Raspberry Pi Imager.....	63
- Figure IV.6 : L'état initial de l'écran après la configuration	64
- Figure IV.7 : Le schéma synoptique du processus de configuration de l'écran tactile de multimètre.....	66
- Figure.VI.8 : Arduino Nano.....	67
- Figures VI.9 : Le protocole de communication UART.....	69
- Figure IV.10 : Le schéma synoptique d'assemblage du circuit imprimé et du Raspberry Pi avec l'écran tactile.....	70
- Figure IV.11 : L'image 3D du PCB de multimètre "Fleuvectron"	72
- Figure VI.12 : Le logo de logiciel KiCad.....	73
- Figure VI.13 : Le schéma électronique de microcontrôleur ATmega 328P-A.....	75
- Figure VI.14 : Le schéma de la sonde de voltmètre.....	76
- Figure VI.15 : Le schéma de la sonde d'ampèremètre.....	76
- Figure VI.16 : Le schéma de la sonde négative.....	76
- Figure VI.17 : Le schéma des connecteurs (Jumpers).....	76
- Figure VI.18 : Le logo de TAURI.....	80
- Figure VI.19 : Le logo du langage Rust.....	81
- Figure VI.20 : Le logo de JS.....	82
- Figure VI.21 : Le logo de HTML.....	83
- Figure VI.22 : L'assemblage finale de matériels programmés.....	85
- Figure VI.23 : La connexion du circuit imprimé et de l'Arduino Nano.....	86
- Figure VI.24 : L'état 1 de notre multimètre dans son boîtier lorsqu'il est allumé.....	86
- Figure VI.25 : L'état 2 de notre multimètre dans son boîtier lorsqu'il est allumé.....	86
- Figure VI.26 : La mesure de la batterie avec le multimètre Crown.....	87
- Figure VI.27 : La mesure de la batterie avec notre multimètre.....	87
- Figure VI.26 : Le multimètre avant la communication.....	88
- Figure VI.26 : Le multimètre après la communication.....	88

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Classification des de défaillances.....	8
Tableau II.1 : Les distinctions entre le multimètre de poche et le multimètre de laboratoire.....	20
Tableau II. 2 : Les fonctions du multimètre.....	26
Tableau III.1: Le prix d'achat de l'écran + câbles.....	34
Tableau III.2 : Le prix d'achat de Raspberry pi et ses connexions.....	35
Tableau III.3 : Le prix d'achat des autres équipements.....	36
Tableau III.4 : Le code de couleur pour une résistance à quatre anneaux.....	41
Tableau III.5 : UX du tableau des composants électronique.....	47
Tableau III.6 : L'expérience utilisateur du tableau des symboles des schémas d'installation électrique.....	48

Glossaire

AFNOR : Association Française de Normalisation

AC : Alternative Current = Courant alternatif

DC : Direct Current = Courant continu

DMM : Digital Multimeter = Multimètre numérique

UI : User Interface = L'interface d'utilisateur

UX : User Experience = l'expérience d'utilisateur

POE : Power Over Ethernet = Alimentation par Ethernet

HAT : Hardware Attached on Top = Matériel qui vient dessus

MIPI : Mobile Industry Processor Interface = Interface de processeur pour l'industrie mobile

DSI : Display Serial Interface = Afficher l'interface série

USB : Universal Serial Bus = Bus universel en série

HDMI : High-Definition Multimedia Interface = Interface multimédia en haute définition

VGA : Video Graphics Array

WOR: Word

NCV: No Contact Voltage

OS: Operating System

ISO: International Organization for Standardization = Organisation internationale de normalisation

IMG: Image

SD: Secure Digital = Sécurité Numérique

IA: Intelligence Artificielle

CAT : Catégorie d'Installation de Surtension

PCB : Printed Circuit Board = circuit imprimé

PWM : Pulse Width Modulation = Modulation de Largeur d'Impulsion

ICSP : In-Circuit Serial Programming

UART : Universal Asynchronous Receiver-Transmitter = émetteur-récepteur asynchrone universel

USART : Universal Synchronous Asynchronous Receiver-Transmitter = émetteur-récepteur synchrone asynchrone universel

SPI : Serial Peripheral Interface = Interface périphérique série

I2C: Inter-Integrated Circuit = Circuit inter-intégré

SPICE : Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis = Programme de simulation avec accent sur les circuits intégrés

E/S : Entrée/Sortie

A/N : Analogique/Numérique

RISC : Reduced Instruction Set Computer = ordinateur à jeu d'instructions réduit

SMT : Surface-Mount Technology =Technologie de montage en surface

IDE : Integrated Development Environment = Environnement de Développement Intégré

OS: Operation System = Système d'exploitation

HTML: HyperText Markup Language

CSS: Cascading Style Sheets

JS: JavaScript

Introduction générale

Dans un monde de plus en plus dominé par l'électronique et les technologies numériques, les appareils de mesure et de diagnostic jouent un rôle essentiel dans de nombreux secteurs, allant de l'ingénierie électrique à l'automobile, en passant par les télécommunications et la recherche scientifique. Parmi ces appareils, le multimètre occupe une place centrale en tant qu'outil de mesure polyvalent, permettant de vérifier des paramètres électriques tels que la tension, le courant et la résistance. Cependant, avec l'évolution rapide des technologies, les exigences des utilisateurs se sont accrues, nécessitant des instruments de mesure non seulement précis, mais également intelligents et intuitifs. C'est dans ce contexte que se situe notre projet de fin d'études, visant à concevoir et fabriquer un multimètre intelligent.

Dans le cadre de notre formation de master en ingénierie de maintenance instrumentation, notre projet de fin d'études vise à réaliser un multimètre intelligent. Ce projet couvre la conception du circuit imprimé, l'intégration des composants électroniques, ainsi que le développement du logiciel de contrôle. L'objectif principal est de créer un appareil de mesure fiable et précis, doté de fonctionnalités avancées telles que la connectivité sans fil, un affichage numérique intuitif, et l'analyse en temps réel des données mesurées. De plus, la diversité des icônes sur l'écran tactile offre des utilisations supplémentaires sans avoir à consulter des documents externes ou des moteurs de recherche. En outre, Ce mémoire est structuré de manière à couvrir les aspects théoriques et pratiques du projet, en abordant les défis techniques rencontrés, les solutions adoptées, ainsi que les perspectives d'amélioration future.

Notre mémoire se compose de quatre chapitres. Les deux premiers chapitres définissent la défaillance et la maintenance, ainsi que leurs politiques. Nous y examinerons également le multimètre, ses types et ses fonctionnalités. Le troisième chapitre présente la conception graphique et technique de multimètre. Le quatrième chapitre traite de la réalisation finale de produit conçu, avec le circuit imprimé relié au système embarqué Arduino, et le Raspberry Pi contenant l'application mobile, connecté à l'écran tactile.

Enfin, nous terminerons sur une conclusion générale où nous discuterons de nos impressions et des connaissances acquises au terme de ce projet, tout en mettant en lumière quelques perspectives futures.

Chapitre I : Etude préalable :
Notions générales sur la maintenance

Introduction

La maintenance et la supervision industrielle jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement optimal des systèmes de production modernes. Avec l'évolution rapide des technologies et l'augmentation des exigences en termes de productivité et de qualité, les entreprises doivent adopter des approches de maintenance plus sophistiquées et intégrées. La maintenance industrielle ne se limite plus à la simple réparation des équipements défectueux ; elle englobe désormais des stratégies préventives et prédictives visant à anticiper les pannes et à minimiser les interruptions de service.

Parallèlement, la supervision industrielle, assurée principalement par des différents systèmes, est devenue un pilier de la gestion des processus industriels. Ces systèmes permettent de surveiller en temps réel l'état des équipements et des processus, de détecter rapidement les anomalies et de prendre des mesures correctives immédiates.

Dans ce chapitre, nous explorons les différentes approches et technologies de maintenance et de supervision industrielle, en mettant l'accent sur les avantages et les défis associés à leur mise en œuvre. Nous analyserons comment ces pratiques peuvent être optimisées pour répondre aux besoins croissants de l'industrie en matière de productivité, de sécurité et de durabilité.

I. Notions sur la maintenance

I.1) Concept et terminologie :

Certains termes doivent être prédéfinis pour se familiariser à leur utilisation :

Composant : un système se compose de différents composants, dont chacun joue un rôle crucial et ne peut pas être décomposé davantage dans le cadre de l'étude. Ces composants sont accompagnés d'informations qualitatives telles que les conditions de fonctionnement et les modes de défaillance, ainsi que d'informations quantitatives telles que les fréquences de pannes et les durées de fonctionnement.

Défaut : toute différence entre la caractéristique observée sur le dispositif et la caractéristique de référence est considérée comme un défaut.[1]

Panne : État dans lequel un actif ou un bien est incapable de remplir sa fonction requise, à l'exclusion de la perte de capacité due à : Une maintenance préventive ou autres actions planifiées ou manque de ressources externes.[2]

En remarque, après une défaillance, le bien est en panne, totale ou partielle. Une défaillance est un événement à distinguer d'une panne qui est un état.

Le fonctionnement d'un système : est considéré comme normal lorsqu'il est capable de remplir les fonctions prévues, conformément à sa conception.

Anomalie : est un terme qui permet de décrire tout ce qui s'écarte d'une référence donnée.

Dégradation : fait référence au déclin de la capacité du système à remplir les fonctions prévues.

Signe : un défaut se manifeste par un signe, un caractère qui témoigne d'un comportement anormal. Un signe est un ensemble d'observations provenant d'un système physique et indiquant la présence d'un défaut.

Symptôme : est un événement qui se produit sur un appareil et qui met en évidence un problème. Le regroupement des symptômes en fonction du dysfonctionnement auxquels ils sont associés est aussi courant : on parle alors de syndrome.

L'émergence de symptômes provoque un dysfonctionnement. La différence entre les mots symptôme et signe ressemble donc à la distinction entre défaut et défaillance. [3]

Configuration : Assemblage propre des composants d'un système d'une manière correcte.[4]

Diagnostic : Inférence des pannes en se basant sur les symptômes observés.[4]

Surveillance : Comparer les données observées avec les données désirées pour ajuster les performances.[4]

Planification : Partager les actions pour l'obtention des résultats désirés.[4]

Disponibilité : Selon la norme AFNOR NF-X60 000 , la disponibilité est une capacité d'une entité à remplir une fonction requise dans des conditions données, à un moment donné ou dans un intervalle de temps donné, en supposant que les moyens externes nécessaires soient fournis.

Fiabilité : Selon la norme AFNOR NF-X60 500, la fiabilité est une aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné. Caractéristique d'un bien exprimée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction requise dans des conditions et un temps donné. [x]. Le taux de défaillance $\lambda(t)$ est une probabilité conditionnelle de défaillance largement utilisée en électronique.

Si le taux de défaillance λ est constant, il est relié à la fonction de fiabilité $R(t)$ par l'expression :

$$R(t) \approx e^{-\lambda t} \quad (I.1)$$

Avec :

- $R(t)$: La fonction de fiabilité ('Reliability' en anglais) à l'instant (t). Elle représente la probabilité que le système ou le processus continue de fonctionner sans défaillance jusqu'à l'instant (t).
- (e) : La base du logarithme naturel (environ 2.71828).
- $(-\lambda t)$: Le taux de défaillance du processus à l'instant (t) défini par l'expression :

$$\lambda(t) = \frac{\text{Nombre de défaillant sur interval du temps}}{\text{Nombre d'entités non défaillantes au début d'interval du temps}} \quad (I.2)$$

Maintenabilité : Est une caractéristique précisant la facilité et la rapidité avec lesquelles un système peut être ramené à un état de fonctionnement optimal, avec une fiabilité adaptée à son âge.

La durée active du dépannage peut être utilisée pour évaluer la rapidité de remise en état d'un système. Les temps morts non imputables à la conception du système, comme les délais de réponse des dépanneurs, les temps d'attente des pièces de rechange ou les temps passés à la rédaction des pièces administratives, ne seront pas pris en compte, car ces temps dépendent de l'organisation et de l'efficacité du service de maintenance et non de la conception du système.[5]

Le dépannage : Est une action rapide conçue pour remettre une machine ou un équipement en état de fonctionnement normal. L'objectif est de résoudre le problème rapidement sans analyse approfondie. Le dépannage peut inclure des réparations mineures, telles que le remplacement de pièces endommagées. Il est idéal pour les petites interventions qui ne nécessitent pas une inspection approfondie des systèmes ou des composants.[6]

La réparation : est plus complexe et prend généralement plus de temps, elle est réalisée par des techniciens qualifiés possédant une connaissance approfondie de la machine ou de l'équipement. Le technicien doit d'abord diagnostiquer avec précision la cause du problème. Il peut alors procéder à des opérations telles que le remplacement, le réajustement ou la réparation de pièces.[6]

Les normes CE : (Conformité Européenne), sont un ensemble de directives et de réglementations européennes qui visent à garantir un niveau de sécurité, de santé et de protection environnementale élevé pour les produits vendus au sein de l'Espace économique européen (EEE). Les produits portant le marquage CE sont considérés comme conformes à ces normes.[7]

Chapitre I : Etude préalable : Notions générales sur la maintenance

La norme IEC 1010 : est une norme internationale développée par la commission électrotechnique internationale (IEC – International Electrotechnical Commission) spécifiquement pour les instruments de mesure électrique. Cette norme établit des exigences de sécurité pour la conception, la fabrication et l'utilisation de ces équipements, y compris les multimètres.[7]

L'indice IP : (Ingress Protection) est un système de classification internationale qui définit le niveau de protection des appareils électroniques contre la pénétration de corps solides et liquides.

L'indice IP66 est une spécification particulière qui garantit un niveau élevé de protection pour les équipements électroniques :[8]

- Le chiffre 6 à gauche pour la protection contre les corps solides signifie que l'appareil est totalement protégé contre la poussière et les particules, ne permettant aucune intrusion de poussière à l'intérieur.[8]
- Le chiffre 6 de droite pour la protection contre les liquides signifie que l'appareil peut résister à de puissants jets d'eau provenant de toutes les directions, sans subir de dommages.[8]

La figure 1 résume l'ordonnancement des anomalies selon leur criticité :

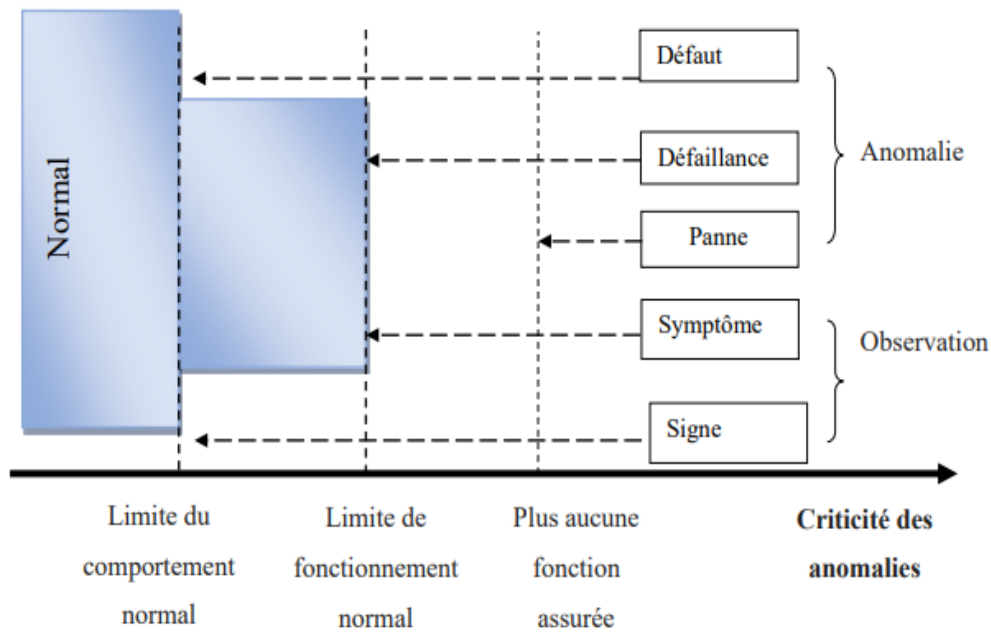


Figure I.1 : Ordonnement des anomalies selon leur criticité.[2]

I.2) La défaillance :

I.2.1) Définition de la défaillance :

Selon la norme CEI-271-1974, c'est la cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise. Cette cessation peut être complète ou partielle.

Les défaillances peuvent être momentanées (indisponibilité du composant à remplir sa fonction pendant un temps donné. Le composant redevient disponible sans répartition) ou permanentes (la défaillance du composant est irréversible, une maintenance est nécessaire pour remettre le composant en service). Les défaillances peuvent être qualifiées et classées de différentes manières : en fonction de la rapidité de manifestation ; en fonction du degré d'importance ; en fonction des causes, en fonction des conséquences, etc....

I.2.2) La classification de la défaillance :

D'après la norme CEI-271-1974, il y a différentes catégories de défaillances, le tableau 1 représente la classification des défaillances :

1. Défaillance à taux constant	C'est une défaillance qui apparaît avec un taux de défaillance sensiblement constant pendant la durée de vie utile de l'entité. Cette défaillance est généralement catalectique. Elle est encore appelée « défaillance aléatoire ».
2. Défaillance complète	C'est une défaillance qui résulte de déviation d'une ou des caractéristiques au-delà des limites spécifiées, telle qu'elle entraîne une disparition complète de la fonction requise (Norme CEI-271-1974).
3. Défaillance partielle	C'est une défaillance résultante de déviation d'une ou des caractéristiques au-delà des limites spécifiées, mais telle qu'elle n'entraîne pas une disparition complète de la fonction requise (Norme CEI-271-1974). Les limites sont des limites spéciales spécifiées à cette fin (CEI-271-1974).
4. Défaillance de commande	C'est une défaillance d'une entité dont la cause directe ou indirecte est la défaillance d'une autre entité et pour laquelle cette entité a été qualifiée et dimensionnée.
5. Défaillance d'usure	C'est une défaillance qui apparaît avec un taux de défaillance rapidement croissant par suite de processus inhérents à l'entité
6. Défaillance non pertinente	C'est une défaillance à exclure pour l'interprétation ou l'évaluation d'une mesure de la sûreté de fonctionnement. On parle aussi de "défaillance à ne pas prendre en compte" (Norme CEI-271A-1978).
7. Défaillance par dégradation	C'est une défaillance qui est à la fois progressive et partielle (Norme CEI-271-1974). A la longue, une telle défaillance peut devenir une défaillance complète (Norme CEI-271-1974).
8. Défaillance pertinente	C'est une défaillance à prendre en compte pour interpréter ou évaluer une mesure de la sûreté de fonctionnement. On parle aussi de "défaillance à prendre en compte" (CEI-271A-1978).
9. Défaillance progressive	C'est une défaillance due à une évolution dans le temps des caractéristiques d'une entité. En général, une défaillance progressive peut être prévue par un examen ou une surveillance antérieure.
10. Défaillance de cause commune	C'est une défaillance dépendante ayant pour origine la même cause directe.

Tableau I.1 : Classification des de défaillances

I.2.3) Les causes de défaillance :

Ce sont toutes les raisons d'échec. La cause peut être due à au moins un des facteurs suivants :

- Défaillance due à la conception.
- Défaillance due à la fabrication.
- Défaillance due à l'installation.
- Défaillance due à une mauvaise utilisation.
- Défaillance due au mauvais fonctionnement lors de la maintenance.

I.2.4) Conséquences de la défaillance :

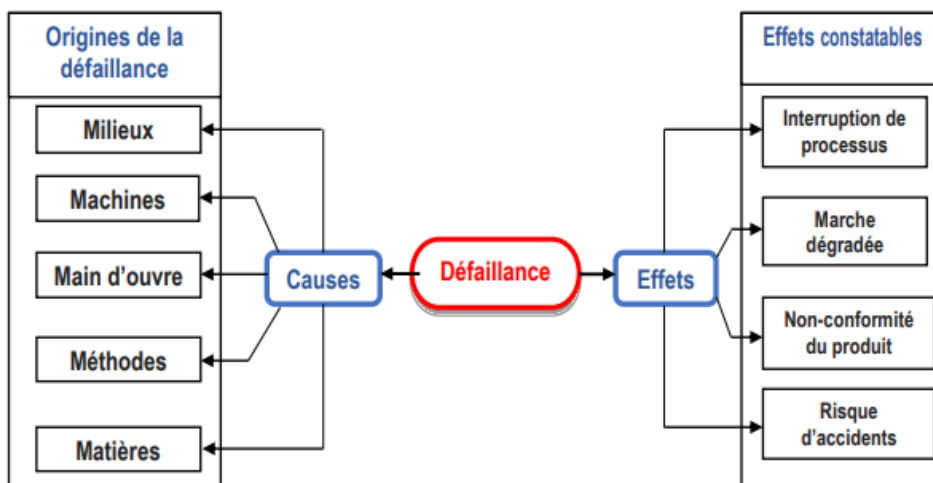


Figure I.2 : Défaillance -causes et effets-.[9]

Les situations pouvant survenir en cas de panne peuvent être divisées dans les catégories suivantes :

- Effets mineurs : légère dégradation des caractéristiques de l'entité étudiée.
- Effets significatifs : dégradation notable des marges de sécurité et des qualités de performance de l'entité.
- Effets critiques : dégradation dangereuse des marges de sécurité.
- Effets catastrophiques : panne de machine et/ou mort d'hommes.

Le synoptique de la figure 2 illustre les causes et les effets de défaillances :

I.3) Généralités sur la maintenance

I.3.1) Définition de la maintenance :

C'est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. (Norme AFNOR X 60-010).

I.3.2) Le rôle et les objectifs de la maintenance :

La maintenance vise à garantir la disponibilité optimale des équipements afin de les mettre à la disposition de la production en respectant le budget alloué, ce qui permet d'augmenter le bénéfice cumulé tout au long de leur vie en réduisant les coûts de maintenance et d'optimiser les performances des systèmes de production, tout en éliminant les accidents et les dangers liés à la sécurité des individus et de l'environnement. Les objectifs de la maintenance sont donc :

a) Les objectifs de coût :

- Garantir la maintenance dans les limites autorisées.
- Il est nécessaire de prendre en compte les frais de maintenance liés au service demandé par l'installation en fonction de leur âge et de leur utilisation.
- Laisser le responsable de la maintenance décider si une certaine quantité de dépense imprévue est tolérée.

b) Les objectifs opérationnels :

- Résoudre les pannes à tout moment et à un prix abordable.
- Améliorer la longévité des biens.
- Garantir des performances de qualité supérieure.
- Maximiser le rendement de l'investissement.

I.3.3) Les types de maintenance :

La politique de maintenance consiste à établir le plan de maintenance et à répartir les activités préventives et correctives. Son objectif est de déterminer les actions opérationnelles de prévention et de correction, ainsi que de leur répartition appropriée. Il est en effet illusoire de croire que la prévention sera la solution à tout ou de définir un pourcentage entre prévention et

correction sans établir de lien avec les exigences de disponibilité et de qualité du client (qui, pour la maintenance, est la production au sein de l'entreprise).[10]

Selon le type d'intervention, la maintenance peut être classée en deux types : la maintenance préventive et la maintenance corrective (figure 3) :

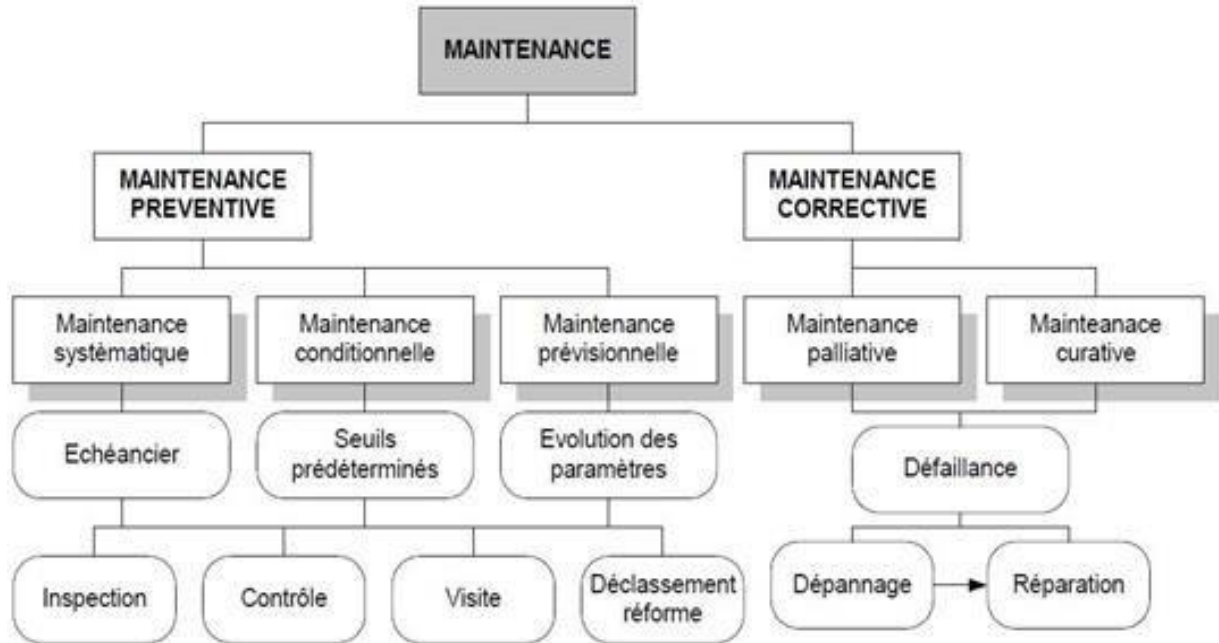


Figure I. 3 : Classification des types de maintenance.[10]

I.3.3.1) La maintenance corrective :

La fonction de maintenance repose sur le processus de "Maintenir - maintenance corrective". Il s'agit de toutes les opérations effectuées après la défaillance d'un bien ou la détérioration de sa fonction, afin de lui permettre d'exécuter une fonction nécessaire, au moins temporairement.[10]

Les tâches de la maintenance corrective incluent :

- La détection et la localisation de la panne (symptôme)
- La détection du mode de défaillance lors du diagnostic initial
- L'identification de la cause de la panne
- La remise en état avec ou sans modification
- Le contrôle du bon fonctionnement

I.3.3.2) La maintenance préventive :

La maintenance préventive consiste à effectuer des entretiens à des intervalles préétablis ou selon des critères spécifiés, dans le but de diminuer les risques de défaillance ou de détérioration du fonctionnement d'un bien. La maintenance préventive est divisée en trois axes, comme mentionné dans la figure 4 :

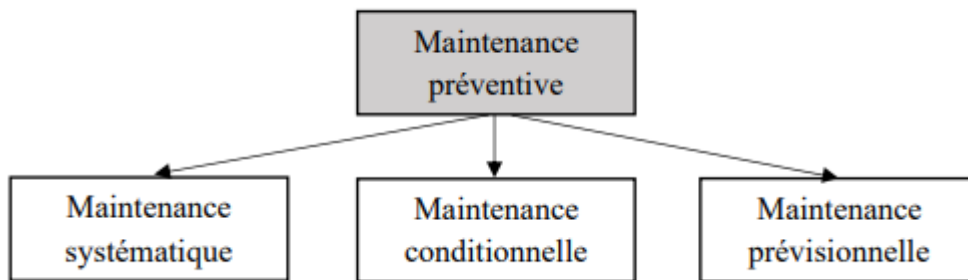


Figure I.4 : Les types de la maintenance préventive.[10]

1. La maintenance systématique :

Elle consiste en une maintenance préventive effectuée à des intervalles de temps prédéfinis ou en fonction d'un nombre spécifique d'unités d'utilisation, sans prendre en compte l'état du bien au préalable.

2. La maintenance conditionnelle :

Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent.

3. La maintenance prévisionnelle :

Consiste à effectuer une maintenance conditionnelle en se basant sur les prévisions tirées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres importants de la détérioration du bien. Les outils de Contrôle Non destructif (CND) sont utilisés dans cette maintenance prévisionnelle, tels que la thermographie infrarouge, l'analyse des lubrifiants, les mesures de vibrations ou d'épaisseurs à l'aide d'ultra-sons.

II) La supervision industrielle :

II.1) Définition de la supervision industrielle :

La supervision consiste à exploiter les installations industrielles à l'aide d'écrans de surveillance placés dans des postes de contrôle et pouvant être actualisés à tout moment avec les informations des automatismes et des capteurs intelligents. [11]

II.2) Les tâches de supervision :

La supervision se situe à un niveau supérieur et se superpose à la boucle de contrôle, où elle assure les estimations de conception et les conditions de fonctionnement de l'algorithme de contrôle. Les principales tâches de supervision comprennent le suivi, l'aide à la décision, le diagnostic et la détection. L'organigramme de la figure 5 résume les étapes de supervision d'un système industriel :

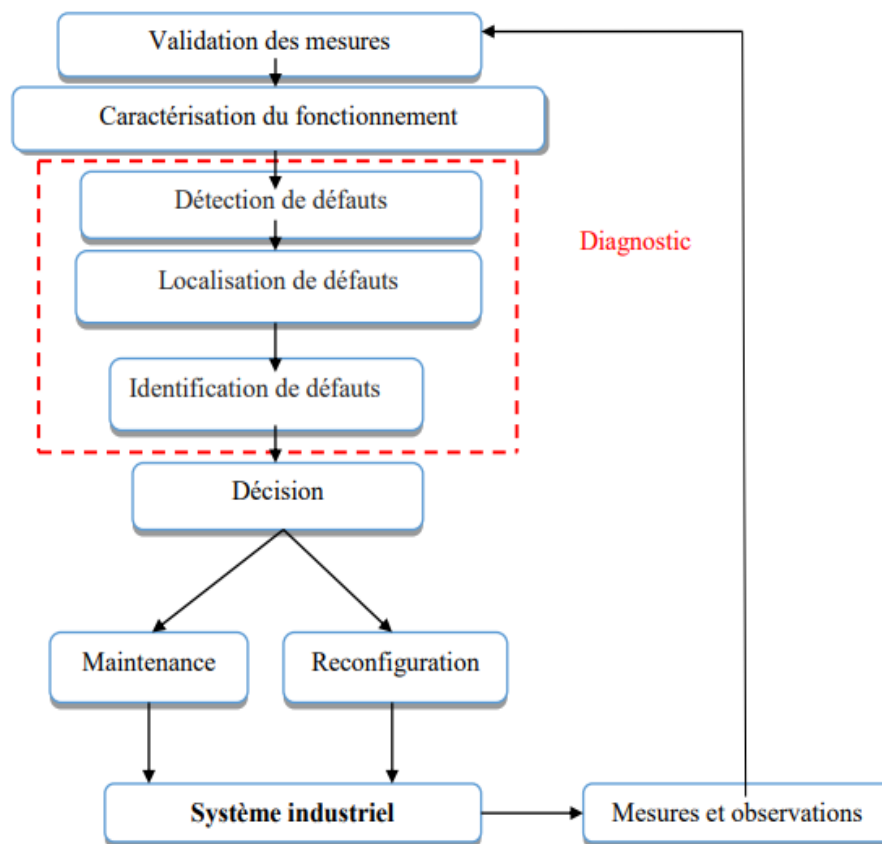


Figure I. 5 : Les différentes étapes de la supervision.[3]

Ces différentes tâches peuvent être détaillées comme suit :

1. L'extraction des informations nécessaires à la mise en forme des caractéristiques associées aux fonctionnements normaux et anormaux, à partir des moyens de mesures appropriées ou d'observations réalisées hors des rondes par les personnels de surveillance.
2. La caractérisation des défauts est l'élaboration des caractéristiques et signatures associées à des symptômes révélateurs de défaillances et de dégradations en vue de la détection d'un dysfonctionnement.
3. La détection de défauts permet de déterminer si le système physique fonctionne normalement et a pour objectif de signaler la présence d'un défaut en comparant le comportement courant du système avec celui donné pour référence.
4. L'opération de localisation qui suit l'étape de détection a pour objet la localisation d'un défaut détecté survenant sur les actionneurs, les capteurs d'instrumentation, la commande ou le système commandé en indiquant quel organe ou composant est affecté par celui-ci.
5. La tâche d'identification a pour but de caractériser le défaut en durée et en amplitude afin de le classer par types et degrés de sévérité. Ainsi, il peut servir à assurer le suivi de son évolution, ce qui est fort utile dans le cas d'un changement de comportement lent dû au vieillissement et à l'usure. De plus, cette tâche peut comprendre une procédure visant à déterminer la cause du défaut, c'est-à-dire son origine.

Ces trois dernières tâches constituent le corps d'une procédure de diagnostic

6. La prise de décision en fonction des conséquences futures des défaillances et des dégradations. Cette prise de décision peut conduire à un arrêt de l'installation si ces conséquences sont importantes.

II.3) Les erreurs de diagnostic liées au manque de connaissances techniques :

II.3.1) Le diagnostic des pannes électronique :

Afin de diagnostiquer efficacement les pannes électroniques, il est crucial de développer une expertise dans ce domaine. La technologie évoluant rapidement, il est important de rester à jour.

L'expérience est également essentielle pour repérer des modèles répétitifs. Des connaissances de base en électronique, notamment le fonctionnement des circuits, les composants électroniques et les techniques de mesure, sont essentielles pour un diagnostic précis. Si les compétences

nécessaires n'existent pas, il est recommandé de faire appel à un expert en diagnostic électronique. Leur expérience et leur expertise leur permettent de résoudre rapidement les problèmes les plus complexes.[12]

De plus, pour optimiser davantage les diagnostics et les réparations, il est recommandé de se tenir au courant des dernières avancées en matière de composants électroniques.

II.3.2) Les stratégies pour éviter les erreurs de diagnostic en cas de panne électronique :

Les stratégies visant à éviter les erreurs de diagnostic en cas de panne électronique sont essentielles. L'utilisation d'instruments analytiques spécialisés facilite la détection des défauts grâce à des mesures précises de tension et de courant et à des capacités de décodage de signaux numériques.

Une approche systématique et logique est une autre stratégie importante. Vérifier l'alimentation électrique dès le début et effectuer une inspection visuelle des composants peut aider à détecter des anomalies physiques et à garantir que des étapes importantes ne sont pas négligées.

Il est également crucial de rester au courant des dernières technologies et techniques de diagnostic. Afin de maintenir les compétences dans ce domaine, une formation continue et un suivi technique régulier sont nécessaires.

Conclusion :

La maintenance et la supervision industrielle sont des éléments cruciaux pour garantir la continuité et l'efficacité des opérations dans un environnement de production.

L'intégration de technologie avancée dans les stratégies de maintenance ouvre de nouvelles perspectives. Ces innovations permettent une surveillance plus fine et une analyse prédictive plus précise, améliorant encore la fiabilité et la performance des systèmes industriels.

En somme, la transformation numérique de la maintenance et de la supervision industrielle représente un levier puissant pour améliorer la compétitivité des entreprises. Cependant, cette transition nécessite des investissements en technologies et en formation du personnel pour tirer pleinement parti des avantages offerts par ces nouvelles approches. Ainsi, l'avenir de la maintenance industrielle repose sur une adoption progressive et stratégique des outils numériques, visant à créer des environnements de production plus intelligents, réactifs et résilients.

Chapitre I : Etude préalable : Notions générales sur la maintenance

Dans ce chapitre, nous avons montré l'importance de la maintenance, et les défaillances qui découlent de différentes anomalies. Dans le chapitre qui suit, on se propose de présenter les différentes catégories de multimètres, les techniques de mesures associées, ainsi que l'impact économique de cet appareil de mesure d'intervention directe sur le site industriel.

Chapitre II :
L'appareil de Maintenance et de Supervision :
Le multimètre numérique

_____Chapitre II : L'appareil de Maintenance et de Supervision : Le multimètre numérique

Introduction :

Les multimètres, outils incontournables pour les ingénieurs et techniciens en électronique, permettent la conversion des grandeurs physiques en mesures numériques. Dans ce chapitre, nous approfondirons l'étude préalable de ces appareils. Nous explorerons les principes de fonctionnement, les différentes catégories de multimètres ainsi que les technologies de mesure qui leur sont associées. La compréhension de ces éléments s'avère essentielle pour la maîtrise des fonctionnalités de l'appareil et garantir ainsi des mesures précises et fiables.

I. Etat de l'art sur le Multimètre

I.1) La définition du multimètre

Le multimètre, également connu sous le nom de contrôleur universel, est un appareil regroupant en un seul boîtier un ensemble d'appareils permettant ainsi d'effectuer des mesures électriques. Généralement, on y trouve le voltmètre (mesure de tension), l'ampèremètre (mesure de l'intensité du courant) et l'ohmmètre (mesure de la résistance).[13]

Les multimètres dits numériques sont basés sur un voltmètre et comprennent au moins un convertisseur tension-courant qui permet de le convertir en ampèremètre, ainsi qu'un générateur de courant constant qui le convertit en ohmmètre.

I.2) Les catégories de multimètres

Il existe deux catégories principales de multimètres, les multimètres analogiques et les multimètres numériques :[14]

- a) Le multimètre analogique : C'était le premier à apparaître. Construit autour d'un ampèremètre, généralement de type magnétoélectrique et comprenant un convertisseur tension-courant. Le principal avantage est qu'aucune pile n'est requise pour les mesures de tension et de courant. De plus, pour le même prix, leur bande passante est beaucoup plus large, permettant des mesures AC dépassant les centaines de kilohertz, alors que les modèles numériques standards sont limités à quelques centaines de hertz. C'est pourquoi ils sont encore largement utilisés pour tester, ils utilisent un cadran avec des aiguilles pour indiquer les lectures.

_____Chapitre II : L'appareil de Maintenance et de Supervision : Le multimètre numérique



Figure II. 1 : Le multimètre analogique.[15]

b) Le multimètre numérique (ou DMM) : Il est apparu dans les années 1970 avec l'avènement des circuits intégrés spécifiques à une application (convertisseurs analogique-numérique CAN), qui comprenaient cinq fonctions principales (tension continue, tension alternative, résistance, ampérage continu et ampérage alternatif). Il affiche les informations numériquement sur un écran LCD.

Une fonctionnalité supplémentaire permet de vérifier les jonctions des diodes ou des transistors, puis de mesurer la capacité, la température et la fréquence. Cependant, sur certains multimètres numériques, le dernier chiffre de la valeur affichée fluctue, parfois rapidement. Cela rend plus difficile l'évaluation des mesures, et attendre que les mesures se stabilisent peut ralentir le travail. Un autre inconvénient est que les multimètres numériques sont plus sensibles aux signaux parasites externes (en raison de leur impédance d'entrée plus élevée), ce qui rend leurs mesures moins fiables.

Il existe deux autres types de multimètres dans cette catégorie : Multimètres numériques de poche et multimètres numériques de laboratoire, le tableau 2 et les figures 1, 2, et 3 mettent en évidence les distinctions entre les deux types :

_____Chapitre II : L'appareil de Maintenance et de Supervision : Le multimètre numérique

	Taille et portabilité	Résolution et précision	Fonctionnalités avancées	Coût
Multimètres de poche	Ils sont compacts, légers et faciles à transporter Ils sont conçus pour une utilisation sur le terrain	Ils ont généralement une résolution entre 3,5 et 4,5 chiffres et offrent une bonne précision pour les mesures courantes	Ils sont conçus pour des mesures de base telles que la tension, le courant et la résistance. Certains modèles peuvent également mesurer la capacité et tester les diodes	Ils sont plus abordables et conviennent aux utilisateurs qui ont besoin d'un outil polyvalent pour des mesures de base
Multimètres de laboratoire	Ils sont plus grands et plus robustes. Ils sont généralement utilisés en laboratoire, pour la recherche et le développement, ou dans les systèmes de production.	Ils offrent une précision plus élevée et une meilleure résolution. Leur exactitude est essentielle pour les applications métrologiques et de haute précision	Ils offrent des fonctionnalités plus avancées, telles que la mesure de fréquence précise, la capacité, la charge et le potentiel stockés.	Ils peuvent être coûteux, parfois aussi chers qu'un oscilloscope portable, en raison de leur précision et de leurs fonctionnalités avancées

Tableau II.1 : Les distinctions entre le multimètre de poche et le multimètre de laboratoire.[14]



Figure II.2 : DMM de laboratoire.[17]



Figure II.3 : DMM de poche.[15] [16]

_____Chapitre II : L'appareil de Maintenance et de Supervision : Le multimètre numérique

I.3) L'historique de multimètre

Le multimètre numérique c'est le premier appareil pouvant être considéré comme l'ancêtre du multimètre a été mis au point en 1820. Il s'agissait d'un dispositif de détection de courant à pointeur mobile, appelé galvanomètre.[18]

Le galvanomètre dévie le courant à l'aide d'une bobine mobile tournant entre des aimants permanents, et à mesure que le courant circule, la bobine se déforme. Un galvanomètre peut être converti en ampèremètre en ajoutant une résistance en parallèle au circuit. Une résistance série peut être utilisée comme voltmètre.[19]

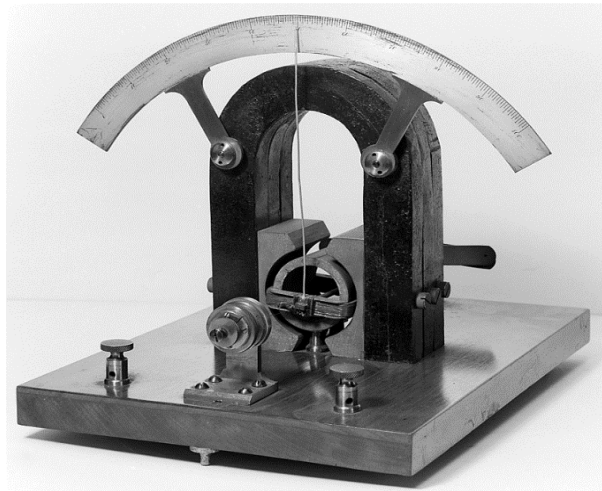


Figure II.4 : Le galvanomètre.[19]

En 1977 : Le Fluke 8020A devient le premier multimètre numérique portable à succès.

En 1983 : Fluke présente le 88, le premier multimètre portable conçu pour les techniciens automobiles

En 1991 : Fluke commence à vendre le multimètre numérique Fluke 12.

En 2004 : L'introduction du multimètre industriel, le modèle 87V de Fluke ajoute une fonction de thermomètre et la capacité de mesurer avec précision la fréquence et la tension des variateurs de vitesse.

En 2019 : Fluke présente le multimètre numérique TRMS 87V MAX, le premier multimètre Fluke certifié IP67.

_____Chapitre II : L'appareil de Maintenance et de Supervision : Le multimètre numérique

En 2022 : GLADTOP a été lancé le multimètre numérique tactile, ce modèle est doté d'un écran tactile de 4,7 pouces et offre une gamme de fonctionnalités avancées, adaptées à diverses applications de mesure électrique et électronique.



Figure II.5: DMM 8020A. [20]

Figure II.6: DMM 12.[21]

Figure II.7: DMM GLADTOP.[22]

II. Le multimètre numérique

II.1) Les caractéristiques du multimètre numérique :

II.1.1) Les caractéristiques d'alimentation :

- 2 piles 1,5 V taille R6
- Autonomie : 250 heures (typique) en service continu.

II.1.2) Les caractéristiques de sécurité :

- 1) **Isolation électrique** : Les composants internes du multimètre doivent être correctement isolés pour éviter tout risque d'électrocution ou d'endommagement de l'appareil.

_____Chapitre II : L'appareil de Maintenance et de Supervision : Le multimètre numérique

2) Protection contre les surtensions : Les multimètres doivent être capables de résister aux surtensions accidentelles sans mettre en danger l'utilisateur ou endommager l'appareil. Pour cela, il est crucial de vérifier les valeurs CAT du multimètre que nous utilisons.

La norme IEC 1010 classe les instruments de mesure électrique, y compris les multimètres, en fonction du niveau de risque lié à leur utilisation. Cette classification est basée sur les catégories de mesure (CAT), qui tiennent compte de facteurs tels que les tensions maximales admissibles, l'énergie des circuits et les conditions d'utilisation. Les catégories de mesure sont les suivantes :[23]

- CAT I : Appareils destinés à des applications de faible tension, comme des dispositifs électroniques ou des réseaux de communication
- CAT II : Convient pour les mesures sur des appareils alimentés par des prises de courant domestiques (par exemple, prises murales).
- CAT III : Adapté aux mesures sur des installations fixes (panneaux de distribution, tableaux électriques, etc.).
- CAT IV : Utilisé pour les mesures sur les sources d'alimentation principales (comme les lignes électriques extérieures).

Lorsque nous choisissons un multimètre, nous devons nous assurer qu'il est classé pour la catégorie la plus élevée dans laquelle nous pourrions éventuellement l'utiliser. Par exemple, si nous mesurons un panneau de distribution électrique de 480 V, nous devrions opter pour un multimètre CAT III-600 V minimum

3) Boîtier robuste et résistant : Le boîtier de multimètre est totalement étanche (norme IP 66), solide et durable, pour résister aux chocs et aux conditions difficiles rencontrées sur les chantiers contre toute fausse manœuvre

4) Symboles figurant sur le multimètre :

En général, les symboles de sécurité sont :



Figure II.8 : Attention, risque de danger



Figure II.9 : Attention, risque de choc électrique

____Chapitre II : L'appareil de Maintenance et de Supervision : Le multimètre numérique

II.1.3) Les caractéristiques techniques :

En figure II.10, nous trouvons les différentes parties constituant un multimètre numérique. Le type de multimètre utilisé à titre d'exemple est l'un des multimètres les plus couramment utilisés. L'apparence peut différer de celle d'autres types ou marques de multimètres. Mais d'une manière générale, ce type de multimètre peut servir de référence :[24]

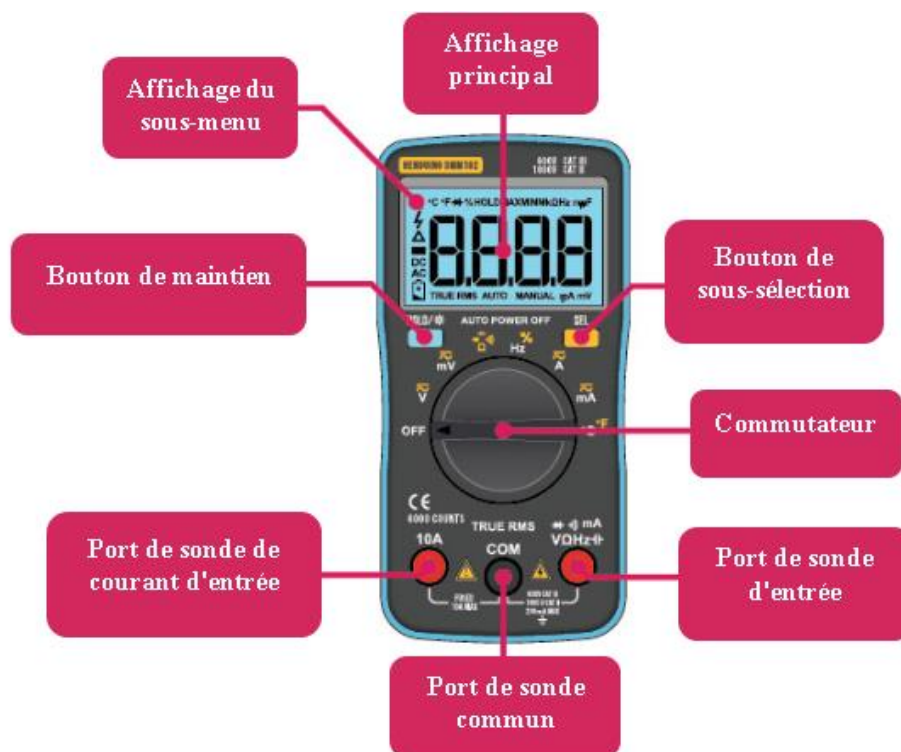


Figure II.10 : Exemple d'une pièce d'un multimètre.

Affichage principal :

L'affichage principal ou écran principal est la zone utilisée pour afficher les valeurs des résultats de mesure. La valeur apparaîtra sous la forme d'un grand nombre.

Bouton de sous-sélection :

Les boutons de sous-sélection ou boutons de sélection de sous-menu sont des fonctions complémentaires au sélecteur de fonctions. Par conséquent, parfois appuyer sur ce bouton n'affectera pas le fonctionnement du multimètre si le sélecteur de fonction est en position

_____Chapitre II : L'appareil de Maintenance et de Supervision : Le multimètre numérique

fonction unique (une seule fonction). Les boutons de sous-sélection sont utilisés pour sélectionner des fonctions spécifiques lorsque le sélecteur de fonction est tourné vers les différentes positions de fonction de mesure. L'utilisation de ce bouton affectera les symboles qui apparaissent sur l'affichage du sous-menu.

Commutateur :

Le sélecteur de fonction est l'interrupteur principal qui utilise un commutateur rotatif pour sélectionner l'une des fonctions du multimètre. Pour ces fonctions, Il y a un symbole jaune au-dessus du symbole principal, ce qui signifie qu'il y a des sous-fonctions qui peuvent être choisies en utilisant le bouton de sous-sélection.

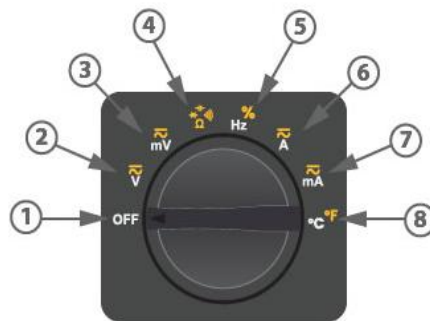


Figure II.11 : Le commutateur

Le commutateur est utilisé pour déterminer la fonction du multimètre, ses fonctions sont énumérées dans le tableau 1 ci-dessous :

Numéro	Symbole	Fonction	Sous-fonction	Description
1	OFF	Le multimètre est éteint	–	–
2	V	- Mesure de tension	- Courant DC - Courant AC	$\leq 1000V$ $\leq 750V$
3	mV	- Mesure de tension	- Courant DC - Courant AC	$\leq 600mV$ $\leq 600mV$

_____ Chapitre II : L'appareil de Maintenance et de Supervision : Le multimètre numérique

4	Ohm (Ω) Buzzer Diode Condensateur	- Mesure de résistance - Mesure de continuité - Vérification des diodes - Mesure de condensateur	- Résistance - Continuité - Test de diodes - Capacité	- $\leq 60M\Omega$ - - - $\leq 9.999mF$
5	Hz %	- Mesure de fréquence - Mesure du cycle de service	- Fréquence - Cycle de travail	- Basse tension - 1% - 99%
6	A	- Mesure de courant	- Courant DC - Courant AC	- $\leq 10A$ - $\leq 10A$
7	mA	- Mesure de courant	- Courant DC - Courant AC	- $\leq 600mA$ - $\leq 600mA$
8	$^{\circ}C$ $^{\circ}F$	- Mesure de température	- Celsius - Fahrenheit	- $(-10) \sim 1000$ - $(-4) \sim 1832$

Tableau II. 2 : Les fonctions du multimètre

Port de sonde d'entrée :

L'entrée de la sonde est le point d'entrée principal pour la mesure/inspection. La sonde rouge (câble de la sonde de mesure) est connectée par cet orifice. À partir de ce point d'entrée, les utilisateurs peuvent effectuer des inspections ou des mesures, notamment :

- Tension alternative et courant continu
- Résistance
- Capacitance (condensateur)
- Fréquence
- Température
- Continuité
- Diode

Port de sonde commun :

Les ports de sonde communs sont souvent appelés ports de sortie, bien que ce ne soit pas tout à fait exact. Ce trou de fil se connecte à la sonde noire (câble de la sonde de mesure), c'est

_____ *Chapitre II : L'appareil de Maintenance et de Supervision : Le multimètre numérique*

pourquoi on l'appelle souvent fil de terre ou câble négatif. Lors de la prise de mesures, le câble de la sonde est toujours posé au sol de l'objet mesuré.

Port de sonde de courant d'entrée :

Le port de la sonde de courant d'entrée est une ligne dédiée à la mesure de courant élevé. De manière générale, les multimètres numériques portables peuvent mesurer un courant allant de 10 ampères à 20 ampères. Mais ce chemin est rarement utilisé car le courant circulant à travers le multimètre est très important, ce qui rend le multimètre facilement endommagé. C'est pourquoi, pour mesurer des courants importants, nous utilisons généralement une pince multimètre.

Bouton HOLD (Maintenir/ Éclairer) :

Il s'agit d'un bouton à deux fonctions, si on appuie brièvement il active la fonction HOLD et si on appuie longuement il active la fonction rétro-éclairage ou éclairage de l'écran. Le rétro-éclairage est souvent utilisé lors de la mesure d'objets dans des zones sombres pour rendre l'affichage à l'écran plus clair. Parallèlement, si l'utilisateur ne souhaite pas fixer définitivement la sonde sur l'objet à inspecter, la fonction HOLD peut être utilisée pour maintenir les valeurs mesurées. Cela se fait généralement lorsque l'utilisateur souhaite enregistrer les résultats de l'examen.

Le but de la sauvegarde de la valeur du résultat de mesure est de permettre à l'utilisateur de lire le résultat de mesure lorsqu'il souhaite éloigner la sonde de l'objet après la mesure

Affichage du sous-menu :

L'affichage du sous-menu ou l'écran du sous-menu sont de petits menus sous forme de symboles ou d'écritures qui apparaîtront après l'activation de la fonction.

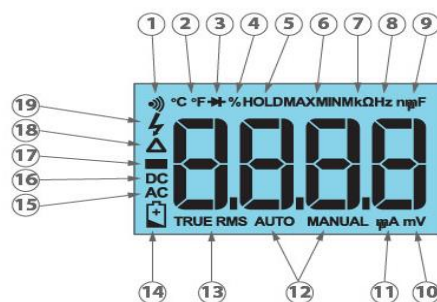


Figure II.12 : Affichage de l'écran du sous-menu

_____ Chapitre II : L'appareil de Maintenance et de Supervision : Le multimètre numérique

Les fonctions de ces symboles et/ou écritures sont :

- 1) **Buzzer** : ce symbole apparaît lorsque la fonction multimètre est utilisée pour le contrôle de continuité. Dans cette fonction, l'utilisateur n'a pas besoin de prêter attention à la valeur affichée à l'écran, il suffit d'écouter le bip provenant du buzzer à l'intérieur du multimètre.
- 2) **°C °F** : Ce symbole apparaît lorsque la fonction multimètre est utilisée pour la mesure de la température. La lettre C est sur l'échelle de température Celsius et la lettre F est sur l'échelle de température Fahrenheit. L'apparition de °C ou °F dépend de l'échelle de mesure de température sélectionnée.
- 3) **Diode** : Ce symbole apparaîtra lorsque la fonction multimètre est utilisée pour vérifier la diode.
- 4) **%** : Le symbole Pourcentage apparaîtra lorsque la fonction multimètre est utilisée pour vérifier le rapport cyclique ou le cycle de travail.
- 5) **HOLD** : Ce symbole apparaît lorsque la valeur du résultat de mesure sur l'écran principal est maintenue. HOLD peut signifier conserver ou maintenir. Pour conserver la valeur du résultat de la mesure, appuyons une fois sur le bouton Hold/Light.
- 6) **MAX MIN** : Ce symbole apparaîtra si la fonction multimètre est réglée en mode manuel. MAX pour déterminer la valeur la plus élevée et MIN pour déterminer la valeur la plus basse.
- 7) **MkΩ** : Ce symbole apparaîtra lorsque la fonction multimètre est utilisée pour vérifier la résistance. La lettre M correspond à Méga, la lettre k à kilo et le symbole Ω se lit comme Ohm.
- 8) **Hz** : Ce symbole apparaîtra lorsque la fonction multimètre est utilisée pour la vérification de la fréquence exprimée en Hertz (l'unité Hz).
- 9) **nµmF** : Ce symbole apparaîtra lorsque la fonction multimètre est utilisée pour vérifier la capacité d'un condensateur. La lettre n correspond à nano, le symbole µ à micro, la lettre m à milli et la lettre F à Farad.
- 10) **mV** : Ce symbole apparaîtra lorsque la fonction multimètre est utilisée pour la mesure de tension. La lettre m est pour milli et la lettre V pour Volt. La lettre m disparaîtra si la source de tension mesurée est supérieure à 1 Volt. Si la tension est inférieure à 1 volt, le multimètre affichera automatiquement la lettre m, il lit donc les millivolts.
- 11) **µmA** : Ce symbole apparaîtra lorsque la fonction multimètre est utilisée pour de petites mesures de courant. Le symbole µ pour micro, la lettre m pour milli et la lettre A pour

_____ Chapitre II : L'appareil de Maintenance et de Supervision : Le multimètre numérique

Ampère. Le symbole μ ou la lettre m disparaîtra si les résultats de mesure actuels dépassent 1 000 μ A et/ou 1 000 mA.

- 12) **AUTO MANUEL** : Ce symbole apparaîtra lors de la vérification de la tension, du courant et de la résistance. Lorsque le mode AUTO est sélectionné, le multimètre recherchera automatiquement la plage de mesure, si la valeur est dans la plage micro, milli, etc. Toutes les plages de mesure seront calculées automatiquement par le multimètre. Pendant ce temps, en mode MANUEL, la plage de mesure doit être déterminée manuellement. Le mode MANUEL est le plus souvent inutilisé ou ignoré. Car lorsque le multimètre est allumé, le multimètre est automatiquement en mode AUTO.
- 13) **TRUE RMS** : Ce symbole apparaîtra lorsque le multimètre est utilisé pour vérifier la tension et le courant avec le type de courant alternatif.
- 14) **Batterie** : Cette icône n'apparaîtra que lorsque la batterie interne, qui sert de source d'alimentation au multimètre, est sur le point de manquer de capacité. L'apparition de cette icône de batterie indique à l'utilisateur que la batterie du multimètre doit être remplacée immédiatement.
- 15) **AC** : Ce symbole apparaîtra lorsque la fonction multimètre est utilisée pour mesurer la tension et le courant avec un type de courant alternatif. Lorsque le multimètre est dans ce mode, le symbole TRUE RMS apparaîtra.
- 16) **DC** : Ce symbole apparaîtra lorsque la fonction multimètre est utilisée pour mesurer la tension et le courant avec un type de courant continu (DC).
- 17) **Moins (-)** : Le signe moins n'apparaîtra que lorsque la fonction multimètre est utilisée pour mesurer la tension avec un type de courant continu et que l'utilisateur utilise les sondes de manière interchangeable. La sonde rouge va au négatif et la sonde noire à la borne positive de la source d'alimentation CC (Courant Continu), puis le symbole moins apparaîtra. C'est ce qu'on appelle la fonction d'auto-polarité.
- 18) **▲** : Ce mode est appelé mode relatif. Ce symbole apparaîtra lorsque la fonction multimètre est utilisée pour mesurer la tension et la résistance. Ce mode utilise une valeur de référence et est généralement utilisé pour mesurer des valeurs très faibles.
- 19) **Haute tension** : Ce symbole apparaît lorsque le multimètre est dans un état dangereux (tension dangereuse). Cela se produit lorsque la fonction multimètre est utilisée pour mesurer des sources d'alimentation haute tension avec courant alternatif.

_____Chapitre II : L'appareil de Maintenance et de Supervision : Le multimètre numérique

Sonde de test :

Une sonde de test est un appareil physique utilisé pour connecter un multimètre à un appareil sous test. Les sondes de test vont des appareils très simples et puissants aux sondes sophistiquées qui sont complexes, coûteuses et fragiles (facilement endommagées). Il existe de nombreux types de sondes de test disponibles, telles que : les sondes d'oscilloscope, les sondes de courant, etc. Une sonde de test est un équipement toujours inclus dans le package d'achat d'un multimètre, comprenant souvent une sonde de température. Cependant, les sondes de test sont également vendues individuellement et se présentent sous différentes formes, caractéristiques et embouts, allant du simple à l'unique.

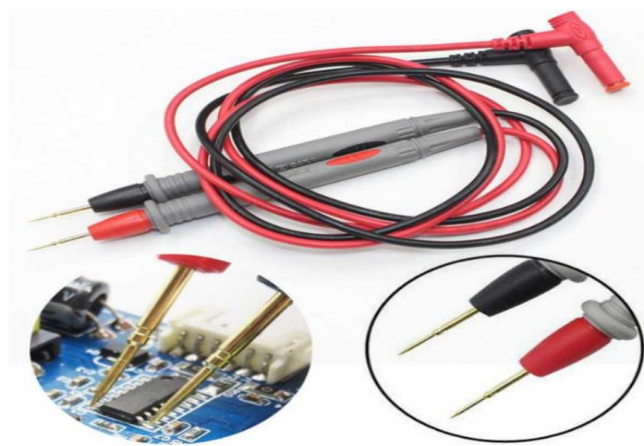


Figure II.13 : Les sondes de test

Sonde thermocouple :

La sonde thermocouple ou également appelée sonde de température est utilisée pour effectuer des mesures de contact de température de surface. Les sondes de température utilisent généralement un capteur de température de type thermocouple pour produire une tension qui varie en fonction des changements de température.

Les multimètres numériques de nouvelle génération incluent généralement toujours une sonde de température dans l'emballage de vente en plus de la sonde de test, car en général, les multimètres numériques ont ajouté une fonction de lecture de la température.

_____Chapitre II : L'appareil de Maintenance et de Supervision : Le multimètre numérique

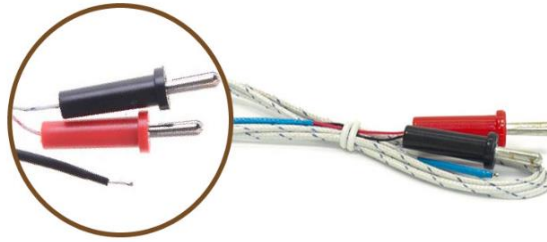


Figure II.13 : Sondes thermocouple

III. L'impact économique du multimètre

Lorsque nous interprétons les résultats de mesure et intervenons en cas de défaillance d'un équipement ou d'un composant à l'aide d'un multimètre, nous franchissons une étape cruciale. Cette étape consiste à prendre des décisions concernant la maintenance ou la reconfiguration (comme nous l'avons vu dans la figure I.5). Ces décisions permettent de maintenir le système industriel en état de fonctionnement normal, quel que soit le domaine de production ou le contrôle de qualité. En considérant la productivité de l'entreprise ou de la société, nous contribuons à sa réputation positive et à ses relations avec des partenaires externes. De plus, cela renforce sa position concurrentielle par rapport à d'autres entreprises

Conclusion :

Le multimètre numérique est un outil polyvalent utilisé pour mesurer principalement la tension et le courant électrique. En plus de ces mesures de base, les modèles modernes permettent également de mesurer la capacité, l'inductance, la résistance et la température. Chaque multimètre intègre un vérificateur de continuité et de diodes, ce qui permet de vérifier le matériel semi-conducteur. La valeur mesurée est convertie en numérique et affichée à l'écran. Les multimètres sont indispensables dans le domaine de l'électricité et de l'électronique et d'autres domaines, offrant une gamme étendue de mesures essentielles. Pour les utiliser correctement, il est crucial de comprendre leurs fonctions, de prendre des précautions de sécurité et d'interpréter correctement les résultats. Que ce soit pour un usage domestique, éducatif ou professionnel, choisir le bon multimètre et savoir l'utiliser est essentiel pour effectuer des mesures précises et sécurisées, permettant ainsi de diagnostiquer et de résoudre efficacement des problèmes électriques et électroniques.

Chapitre III : Conception du projet

À ce stade, l'importance est accordée à la description fonctionnelle et exhaustive du dispositif, avec un niveau de détail adéquat pour garantir la faisabilité du projet.

Introduction :

La conception implique une activité créative. Elle joue un rôle crucial dans le processus de développement d'un projet car elle a acquis une compréhension approfondie des questions liées aux exigences et aux contraintes des composants électroniques disponibles sur le marché.

Le multimètre à réaliser, est constitué principalement d'un circuit imprimé et d'un moniteur à écran tactile qui affichera des icônes pour une utilisation personnelle (UI/UX). Au cours de ce chapitre, nous allons explorer la conception graphique et technique du projet. Nous examinerons les schémas fonctionnels du matériel ainsi que les coûts d'achat. De plus, nous aborderons le rôle de chaque icône de notre multimètre. En outre, nous examinerons les différentes étapes de l'assemblage des matériels afin de rendre le projet réalisable.

I. Matériels et équipements de réalisation :**I.1 Moniteur à écran tactile**

Equipements	Description	Nombre d'unité
Moniteur tactile -Waveshare, 7 pouces (H)-	 [25]	1
Câble Micro-USB	 [26]	1

Câble HDMI standard	 [27]	1
Adaptateur	 [28]	1
Le prix total d'achat		17500 DA

Tableau III.1: Le prix d'achat de l'écran + câbles

Source : Magasin d'électronique Slypro, El eulma -Setif- Algérie

I.2 Circuit électronique Raspberry pi 4

Equipements	Descriptions	Nombre d'unité
Raspberry pi 4 model B, 4GB RAM	 [29]	1

Lecteur de carte SD	 [30]	1
Carte micro SD 32G	 [31]	1
Adaptateur secteur type C	 [32]	1
Le prix total d'achat		19500 DA (76.82 \$)

Tableau III.2 : Le prix d'achat de Raspberry pi et ses connexions

Source : AliExpress, Geekdiyttime Store – Chine –

I.3 Outil de programmation et accessoires

Equipement	Description	Nombre d'unité	Prix d'achat
------------	-------------	----------------	--------------

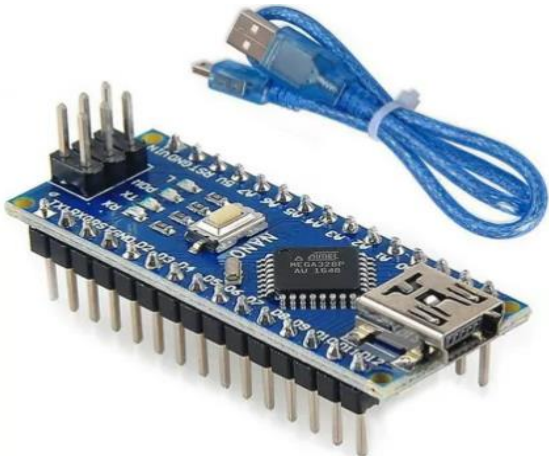
Ordinateur portable HP 240 14 pouces G10	 [33]	1	60000 DA
Rallonge 4*2P+T 1,5m	 [34]	1	700 DA
Arduino Nano et câble mini-B USB	 [35]	1	1150 DA

Tableau III.3 : Le prix d'achat des autres équipements

Source : - Quincaillerie, Ain sefra -Naama- Algérie / Boutique d'électroménager -France-

II. La conception graphique :

II.1 Le logo :

Nous avons décidé d'adopter le nom commercial "Fleuvectron" pour notre produit. Voici le logo que nous avons conçu à l'aide du logiciel Figma.



Figure III.1 : Le logo de produit

II.2 Le design du produit

Notre multimètre, baptisé "Fleuvectron", intègre un moniteur principal équipé d'un écran tactile de 7 pouces pour l'affichage du menu principal, des sous menus et des résultats de mesure après sélection. Evidemment il comportera des connexions d'entrée des sondes spécifiquement conçues pour accueillir les sondes de mesure des grandeurs électriques. Une fois ces mesures effectuées, elles sont transmises aux circuits imprime (PCB) où elles sont traitées et converties en fonction des calculs réalisés par le microcontrôleur.

Comme tous les dispositifs électriques, l'appareil sera muni d'un bouton d'allumage activé par pression pour la mise en marche du dispositif. Notre multimètre intègre également une fonctionnalité NCV (détection de tension sans contact). Ce système avancé permet de mesurer la tension électrique sans avoir à approcher directement les sondes des équipements, contribuant ainsi à une sécurité accrue lors de l'inspection des appareils électriques.

II.3 L'interface utilisateur UI/UX:

Les termes UI/UX sont deux termes liés à la conception de produits numériques.

II.3.1 Interface UI :

UI est l'acronyme anglais de "User Interface". Lorsqu'on parle de conception d'interface utilisateur (UI), on se réfère à la conception de l'interface visuelle d'une application, d'un logiciel ou de tout autre dispositif numérique.

La conception d'interface utilisateur englobe tous les aspects liés au graphisme, à l'apparence et à la mise en page. Cela inclut des éléments tels que le graphisme, le logo, la grille de mise en page, la typographie, les icônes, les couleurs et la disposition des boutons de navigation. Un bon design d'interface utilisateur est essentiel pour rendre l'application esthétiquement agréable, facile à utiliser et intuitive.[36]

II.3.2 Interface UX :

UX est l'acronyme anglais de "User Experience", quant à elle, elle se concentre sur l'expérience globale de l'utilisateur avec un produit numérique. Il s'agit de ce que ressentent les utilisateurs lorsqu'ils utilisent un produit et de la facilité avec laquelle ils l'utilisent. L'expérience utilisateur comprend des éléments tels que la facilité d'apprentissage, la facilité d'utilisation, la satisfaction et l'engagement. Une bonne interface UX rend un produit agréable à utiliser et permet aux utilisateurs d'atteindre leurs objectifs rapidement et facilement.[37]

II.3.3 Le logiciel Figma :

Il permet aux utilisateurs de concevoir, partager et évaluer divers designs pour des sites Web, des applications mobiles, des logos, et d'autres produits numériques. Très apprécié par les designers, les chefs de produit, les rédacteurs et les développeurs, il offre à toutes les personnes impliquées dans le processus de design la possibilité de contribuer, de donner leur avis et de prendre des décisions plus rapidement.[38]



Figure III.2 : Logo du logiciel Figma.[39]

II.4 Le design de l'interface des icones avec Figma

II.4.1 L'interface UI/UX principale :

C'est l'icône initiale que l'utilisateur verra est celle qui lui permettra de choisir la fonction avec laquelle il souhaite travailler. Nous avons opté pour l'anglais comme langue principale, car non seulement c'est la langue mondiale, mais elle est également la plus utilisée par les pays adhérant à la commission de l'IEC (Commission électrotechnique internationale).

Cette interface principale contient trois icônes essentielles :

- **Code des couleurs des résistances** : Permet de décoder les valeurs des résistances en fonction de leurs couleurs.
- **Tolérance des condensateurs céramiques** : Affiche les tolérances associées aux valeurs des condensateurs céramiques.
- **Symboles électriques et électroniques** : Fournit une liste des symboles utilisés pour représenter les composants et les équipements électriques et électroniques.
- **Icône des mesures du multimètre** : Indispensable pour effectuer des mesures. Nous détaillerons le rôle et le fonctionnement de chaque icône ultérieurement.

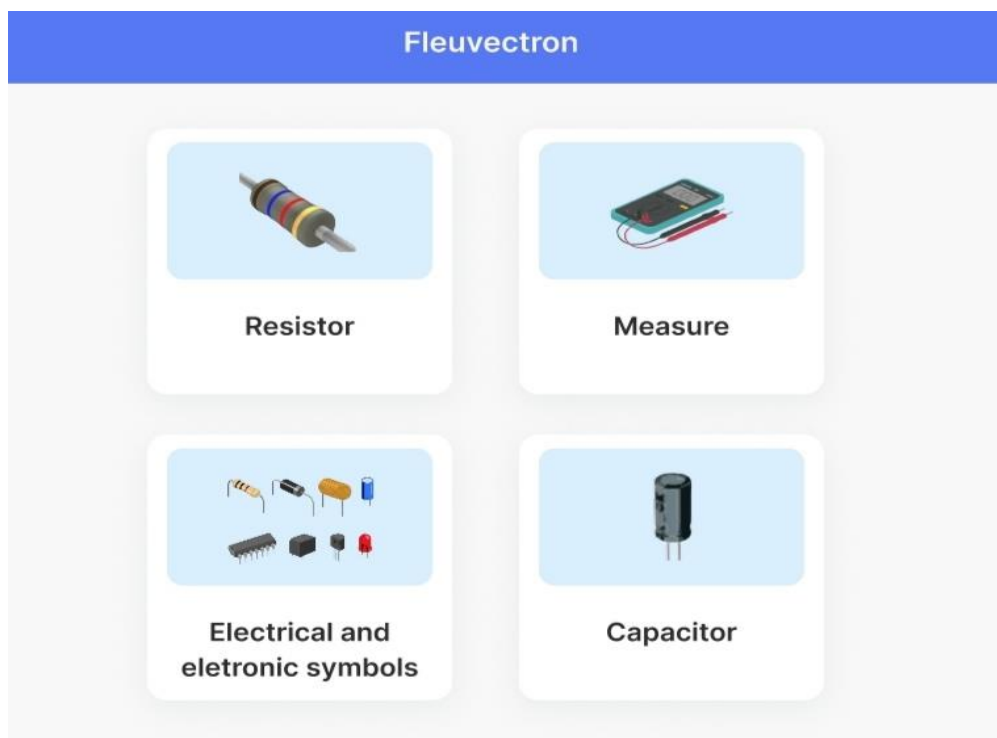


Figure III.3 : Le menu principal de l'interface Utilisateur (UI)

II.4.2 Le contenu des icônes :

Nous commencerons par une description succincte des composants avant d'aborder leur icône.

II.4.2.1 L'icône de la résistance :

A) Que ce qu'une résistance :

Une résistance est un composant électrique fréquemment utilisé dans les circuits électriques, notamment dans le domaine de l'électronique.[40]

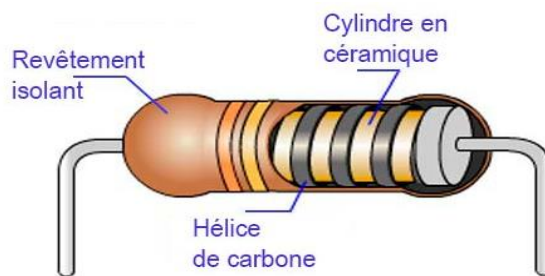


Figure III.4 : Structure interne de la résistance au carbone.[41]

B) Comment déterminer la valeur d'une résistance à partir de ses anneaux de couleur :

Pour déterminer la valeur en Ohms d'une résistance de couleurs, il suffit d'observer le code des anneaux de couleurs. Cet outil permet de convertir les différentes couleurs des anneaux de la résistance en une valeur en Ohms, compréhensible par les êtres humains. Les résistances sont généralement constituées de plusieurs anneaux. Il existe plusieurs types de résistances avec 3, 4, 5 ou 6 anneaux (ou bagues) de couleur. Les couleurs ont une signification qui sera différente selon le nombre et le positionnement des anneaux.

Dans notre projet, nous allons examiner le code de résistance qui comporte quatre anneaux. Voici comment décoder les informations à partir des couleurs de ces anneaux :

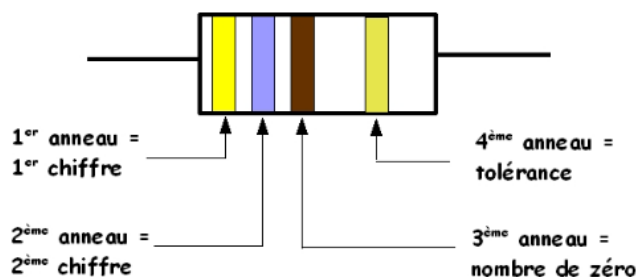


Figure III.5 : Codage d'une résistance par des couleurs.[42]

Valeur de la résistance :

- Les couleurs des deux premiers anneaux indiquent la valeur de la résistance.

Multiplieur :

- Le troisième anneau représente le multiplieur.
- Il détermine la position de la virgule décimale dans la valeur de la résistance.

Tolérance :

- Le quatrième anneau indique la tolérance.
- Selon la norme internationale CEI 60757, qui porte le titre de “Code de désignation de couleurs” (1983), un code de couleurs est utilisé pour indiquer la valeur des résistances, des condensateurs et d’autres composants. Voici le tableau de code de couleur pour une résistance à quatre anneaux :

		1° anneau gauche	2° anneau gauche	3° anneau gauche*	Dernier anneau gauche	Anneau droite
Couleur		1er chiffre	2e chiffre	3e chiffre	Multiplieur	Tolérance
 noir	0	0	0	1 (10 ⁰)		
 marron	1	1	1	10 (10 ¹)	1%	
 rouge	2	2	2	10 ²	2 %	
 orange	3	3	3	10 ³		
 jaune	4	4	4	10 ⁴		
 vert	5	5	5	10 ⁵	0.5 %	
 bleu	6	6	6	10 ⁶	0.25 %	
 violet	7	7	7	10 ⁷	0.10 %	
 gris	8	8	8	10 ⁸	0.05 %	
 blanc	9	9	9	10 ⁹		
 or				0.1	5 %	
 argent				0.01	10 %	

Tableau III.4 : Le code de couleur pour une résistance à quatre anneaux.[43]

La figure III.6 illustre l’interface UX de la résistance à quatre anneaux :

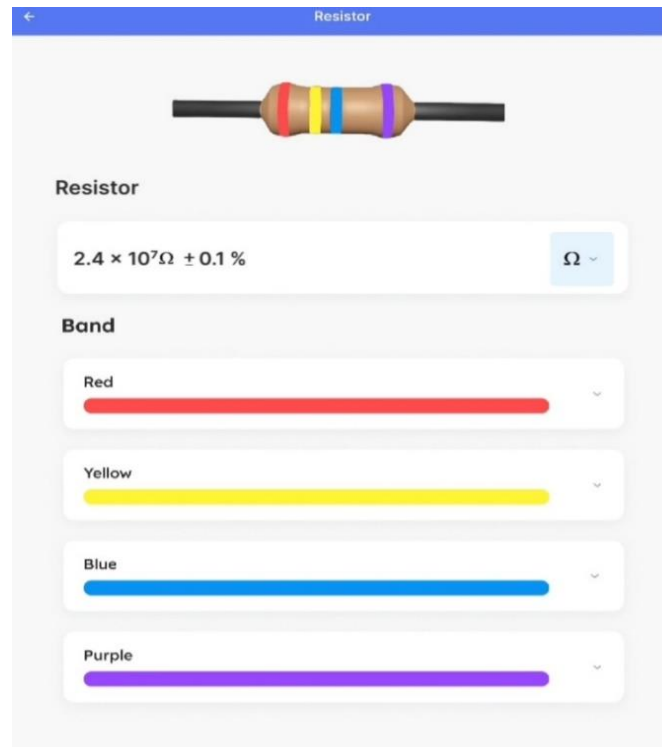


Figure III.6 : UX de la résistance

II.4.2.2. L'icône du condensateur :

A) Que ce qu'un condensateur :

Un condensateur est un composant électronique élémentaire constitué de deux armatures conductrices, (également appelées « électrodes ») [44], séparées par un diélectrique. Il est capable de stocker de l'énergie sous forme de charge électrique. Il est largement utilisé dans les circuits électroniques pour des applications telles que le filtrage, le découplage, le réglage du temps, et bien d'autres.

Différents types de condensateurs existent, tels que le condensateur électrolytique-céramique, en papier, à film, etc. chaque type de condensateur a ses avantages et ses inconvénients, le choix dépend de l'application spécifique et des caractéristiques requises. Chacune possède une méthode particulière pour savoir sa capacité, son unité est le farad.

Farad (F) : L'unité de base du système international (SI) pour la capacité est le farad. Un condensateur a une capacité de 1 farad lorsqu'il porte 1 coulomb sur ses armatures en réponse à une différence de potentiel d'un volt.

La figure III.7 illustre la structure générale d'un condensateur et la figure 8 montre un condensateur réel :



Figure III.7 : La structure interne d'un condensateur.[45]

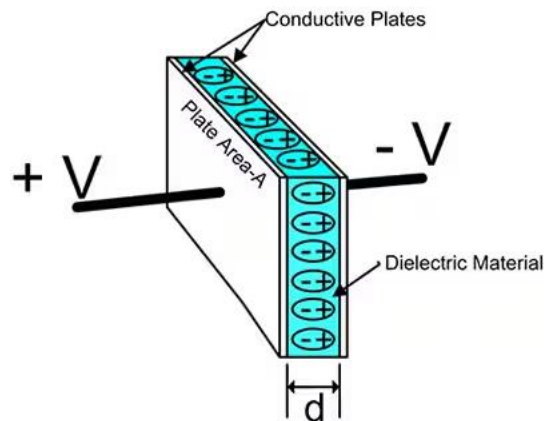


Figure III.8 : Photo réelle d'un condensateur céramique.[46]

Les sous-multiples du farad

Les sous-multiples du farad généralement utilisés, donne un ordre de grandeur possible de la valeur de la capacité d'un condensateur :

- Le centifarad : $1 \text{ cF} = 10^{-2} \text{ F}$
- Le millifarad : $1 \text{ mF} = 10^{-3} \text{ F}$
- Le microfarad : $1 \text{ }\mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$
- Le nanofarad : $1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$
- Le picofarad : $1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$

B) Comment savoir la capacité d'un condensateur céramique ? :

Lire la valeur d'un condensateur nécessite de déchiffrer un code qui varie selon le fabricant du composant. Ces méthodes sont différentes de celles que nous appliquons aux résistances. Dans notre projet, nous explorerons comment lire la valeur d'un condensateur céramique.

- Le premier chiffre (à gauche) représente le premier chiffre significatif.
- Le deuxième chiffre (à gauche) représente le deuxième chiffre significatif.
- Le troisième chiffre (à gauche) indique le nombre de zéros à ajouter à la valeur.

Nous avons utilisé la figure III.8 à titre d'exemple. La capacité est de :

$$472 = 47 * 100 \text{ pF} = 4700 \text{ pF} = 4,7 \text{ nF}$$

La figure ci-dessous illustre la méthode de mesure de la valeur des condensateurs céramiques à l'aide de l'expérience d'utilisateur (UX) de notre multimètre. L'utilisateur entre la valeur numérique correspondante pour obtenir la valeur souhaitée de son condensateur (en pF).

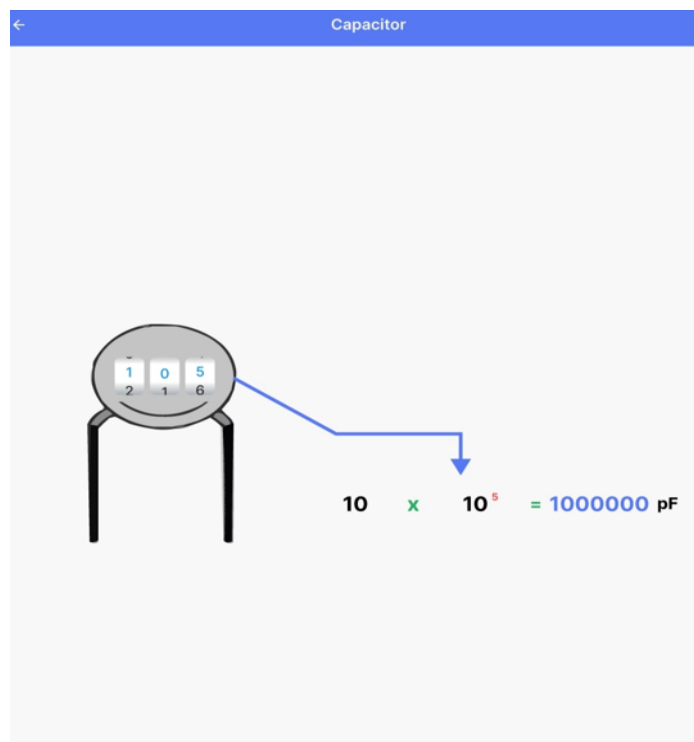


Figure III.9 : UX du condensateur

II.4.2.3) L'icône de mesure :

La figure III.10 illustre la procédure de sélection du calibre sur l'écran de notre multimètre. Après avoir choisi le calibre souhaité, l'utilisateur appuie sur l'écran de manière tactile pour

passer à l'étape suivante. Cette étape consiste à afficher la valeur mesurée avec son unité ou à signaler toute erreur.

Le bouton "Hold" permet d'enregistrer la valeur mesurée, tandis que le bouton "Subsection" sert à sélectionner un calibre et son unité dans le cas où deux choix de mesure sont disponibles dans une seule case.

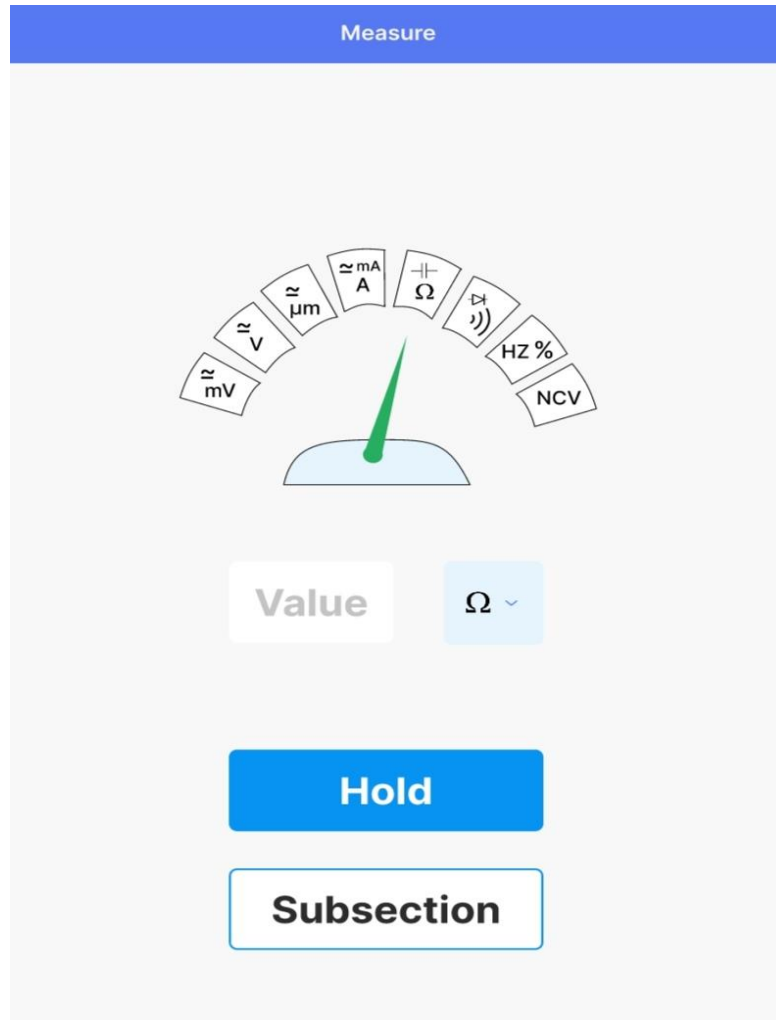


Figure III.10 : UX du process de mesure

II.4.2.4) L'icône de tableau d'appareillage électrique et des composants électronique :

A) Le tableau des composants électronique :

Comme nous l'avons déjà mentionné, nous utilisons la langue anglaise dans le contenu de notre dispositif, car elle est la langue mondialement utilisée.

Dans le tableau des composants électroniques, nous observons l'apparence extérieure des différents composants électroniques, avec l'identification de leur nom et de leur type. De plus, chaque composant est accompagné d'une description, ce qui permet de connaître facilement leurs caractéristiques de manière tactile. L'utilité réside dans le rappel des principes des composants.

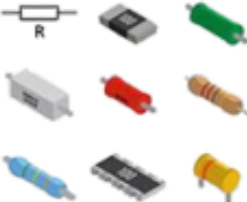
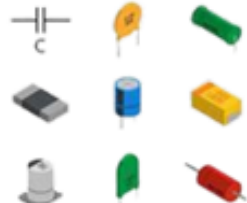
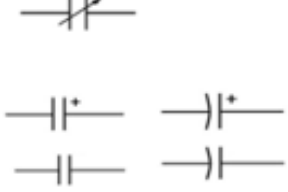
External appearance	Names & Types	Symbols Source : IEC60617	Description & Applications
<p>Resistors</p> 	<p>Variable resistors</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rheostat - variable <p>Fixed resistors</p> <ul style="list-style-type: none"> • Thermistor • Photoresistor • Fuse 		<p>The resistor is a passive electrical component that creates resistance in the flow of electric current. In almost all electrical networks and electronic circuits they can be found. The resistance is measured in ohms (Ω). An ohm is the resistance that occurs when a current of one ampere (A) passes through a resistor with a one volt (V). This ratio is represented by Ohm's law: $R = V / I$.</p> <p>Fixed vs Variable Resistors:</p> <p>Fixed resistors: Their resistance remains relatively constant with changes in temperature, time, or operating voltage.</p> <p>Variable resistors: These can be adjusted to modify circuit elements (e.g., volume controls or lamp dimmers) or serve as sensing devices for heat, light, humidity, force, or chemical activity.</p>
<p>Capacitors</p> 	<p>Variable resistors</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mechanically controlled variable - Tuning - Trimmer <p>Fixed resistors</p> <ul style="list-style-type: none"> • Polar : electrolytic - super • Non polar : ceramic - mica - film 		<p>Capacitors are passive electrical components to store electric energy. In the past, they were referred to as condensers. A capacitor is made from electrical conductors that are separated by an insulator. The insulating layer is called a dielectric. Although all capacitors share the same basic principle components, the material choice and configuration can vary widely. They are common elements in electrical circuits. A few examples are to allow only AC current and block DC current, or to smooth a power supply output.</p>
<p>Inductors</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Iron core inductor • Air core inductor • Ferrite core inductor 		<p>An inductor is an electronic component that stores energy in the form of a magnetic field. It consists of a coil of wire wound around a core material. When current flows through the coil, the magnetic field builds up, and the inductor stores energy. Conversely, when the current changes, the stored energy is released back into the circuit.</p> <p>The inductance measured in henries (H) . quantifies an inductor's ability to store magnetic energy. It depends on the number of turns in the coil and the core material.</p>

Tableau III.5 : UX du tableau des composants électronique

B) Le tableau de l'appareillage électrique :

Dans le tableau de l'appareillage électrique, nous examinons les symboles normalisés utilisés pour les schémas d'installations électriques. Les dispositifs de protection mentionnés ci-après ont été adoptés à l'échelle internationale et sont repris par l'Union Technique de l'Électricité dans les normes de la série NF C 03-201 à 211.

PRODUCTION AND TRANSFORMATION DEVICES	MEASURING DEVICES	PIPLINES	USAGE DEVICES
 Generator  Battery of piles or accumulators  Transformer  Three-phase transformer, Delta/Star  Current transformer  Toroidal transformer  Autotransformer	<p>Indicators</p>  Voltmeter  Ammeter  Wattmeter  Varmeter  Frequency meter <p>RECORDERS</p>  Active energy meter (Watt hour meter)  Active energy meter (Var hour meter)	 Phase conductor  Neutral  Protective (Ground)  5 conductors (3 P + N + G)  Terminal connection  Strip connection  Crossing of 2 conductors with connection  Without connection  Derivation  Unburied junction box	 Lighting lamp (general symbol)  Fluorescence tube  Engine  Alarm  Resistor  Capacitor  Impedance  Safety lighting on special circuit  Autonomous security lighting unit

Tableau III.6 : L'expérience utilisateur du tableau des symboles des schémas d'installation électrique

III. La conception technique

III.1 Le nano-ordinateur monocarte Raspberry pi :

III.1.1) Qu'est-ce qu'un Raspberry Pi :

Le Raspberry Pi est un petit ordinateur de la taille d'une souris d'ordinateur (les dimensions standard sont de 85 mm x 56 mm). Cela ressemble à une carte mère de PC, mais tous les composants sont déjà là (CPU, mémoire, cartes Wi-Fi et réseau, USB, etc.).

La seule chose qui n'est pas incluse sur la carte mère est le stockage. Il n'y a pas de disque dur interne, mais il y a un emplacement pour carte micro SD à l'arrière et une prise en charge des clés USB si nécessaire.

Nous avons donc besoin d'une carte SD supplémentaire et de tous les câbles, mais à part cela, nous n'avons pas besoin de l'assembler nous-mêmes comme pour acheter une carte mère de PC.

Le Raspberry Pi peut être utilisé pour une large gamme de projets : comme ordinateur de bureau, notamment pour l'apprentissage de la programmation, des circuits électroniques (comme les robots), ou pour héberger divers serveurs (serveurs de fichiers, serveurs web, etc.).[47]

III.1.2) Les caractéristiques techniques de Raspberry Pi 4 model B :

- SoC Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bits à 1.5GHz
- SDRAM 4 Go LPDDR4-2400
- LAN sans fil 2.4 GHz et 5.0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac, Bluetooth 5.0, BLE
- Ethernet True Gigabit
- 2 Ports USB 3.0, 2 Ports USB 2.0
- Connecteur GPIO 40 broches entièrement rétro compatible
- 2 ports micro HDMI supportant une résolution vidéo allant jusqu'à 4K 60Hz
- Ports MIPI DSI/CSI à 2 voies pour caméra et écran
- Sortie audio stéréo et port vidéo composite, 4 pôles
- Emplacement pour carte Micro SD, pour le système d'exploitation et le stockage des données
- Nécessite une alimentation 5.1V, 3A via USB-C ou GPIOPoE (Power over Ethernet) (activé nécessite PoE HAT)

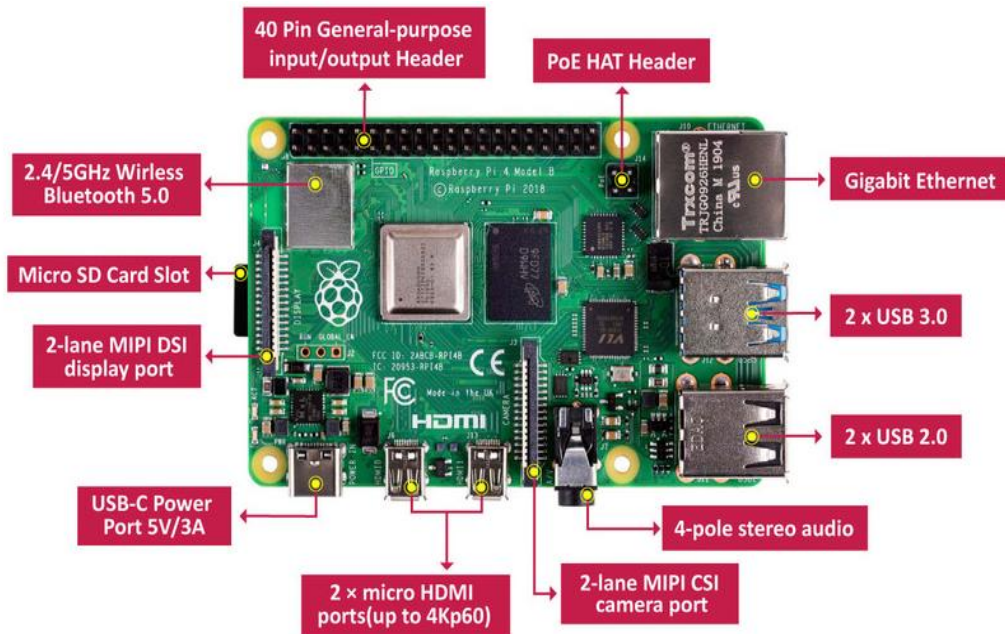


Figure III.11 : Caractéristiques techniques de Raspberry pi 4 model B. [48]

III.2 Les caractéristiques techniques du moniteur tactile Waveshare 7 pouces :

III.2.1) Dimensions du moniteur tactile Waveshare 7 pouces:

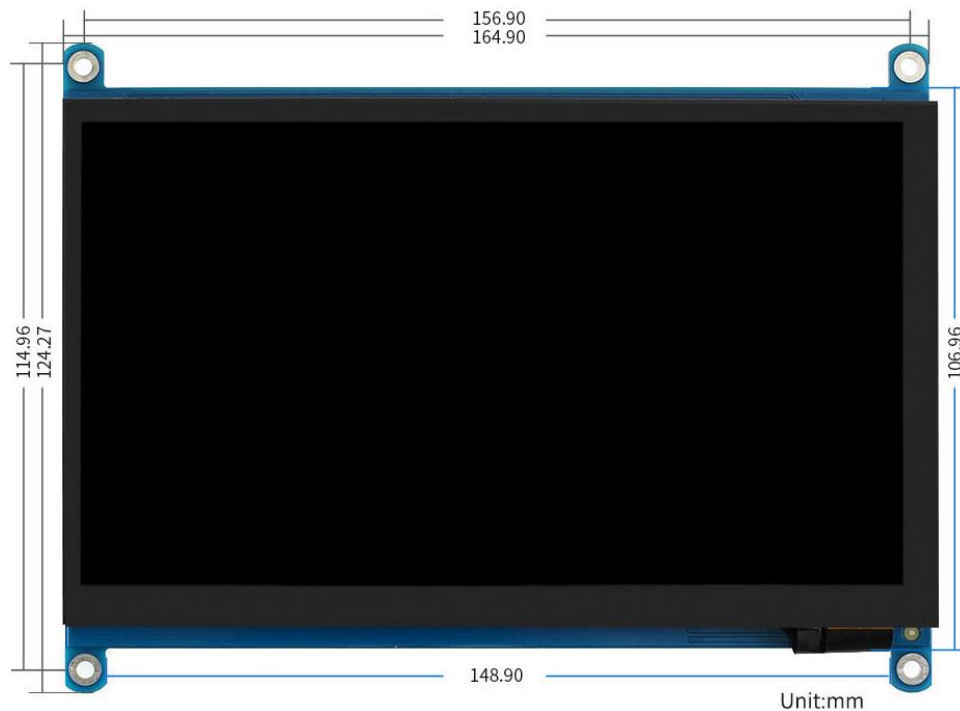


Figure III.12 : Les dimensions de l'écran.[49]

III.2.2 Structure du moniteur tactile Waveshare 7 pouces :

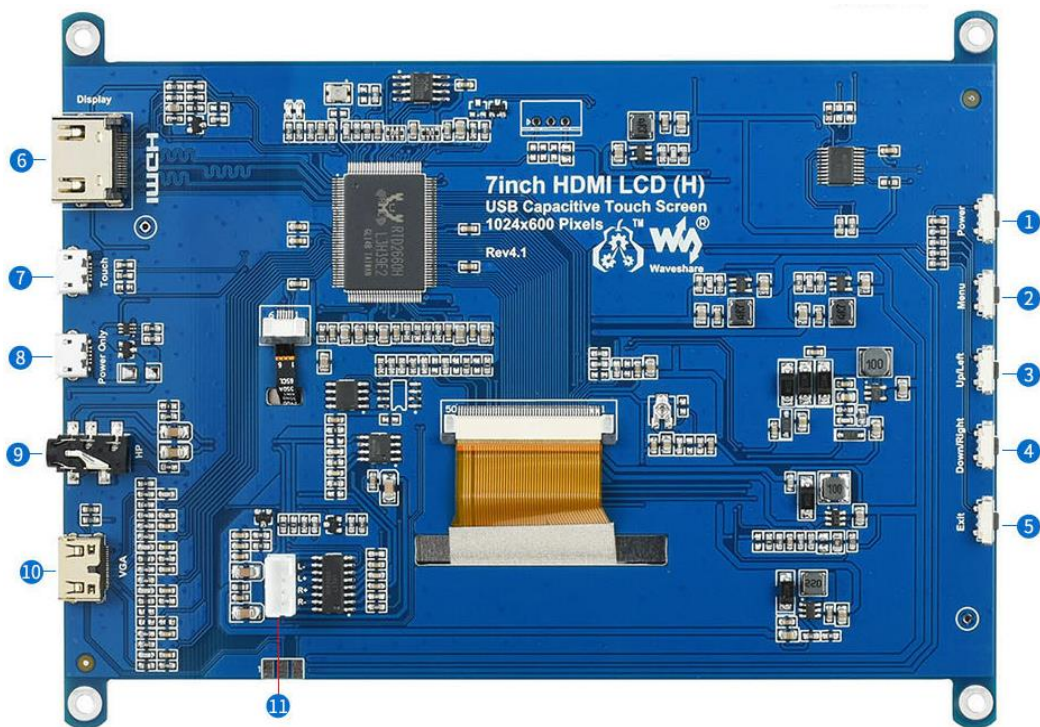


Figure III.13 : La face arrière de l'écran.[49]

- | | | |
|--|----------------------------|------------------------|
| 1 Bouton d'alimentation | 2 Bouton de menu | 3 Bouton Haut/Bas |
| 4 Gauche/Droite bouton | 5 Bouton Retour/Sorite | 6 Port HDMI |
| 7 Port tactile | 8 L'entrée d'alimentation | 9 Prise pour écouteurs |
| 10 Port d'affichage VGA (connecteur mini HDMI) | 11 En-tête de haut-parleur | |

IV. Les organigrammes d'utilisation des icones "UX" :

Les cinq organigrammes suivants présentent une explication de l'expérience utilisateur (UX) de chaque interface, afin de faciliter la compréhension de l'utilisation de notre dispositif.

IV.1. L'organigramme de menu principal :

Nous commencerons d'abord par l'organigramme de l'affichage du menu principal des icônes. Cet organigramme illustre la première étape à laquelle l'utilisateur sera confronté pour choisir ce

qu'il souhaite utiliser : mesurer, reconnaître les symboles des composants ou connaître la valeur de la résistance ou la capacité du condensateur.

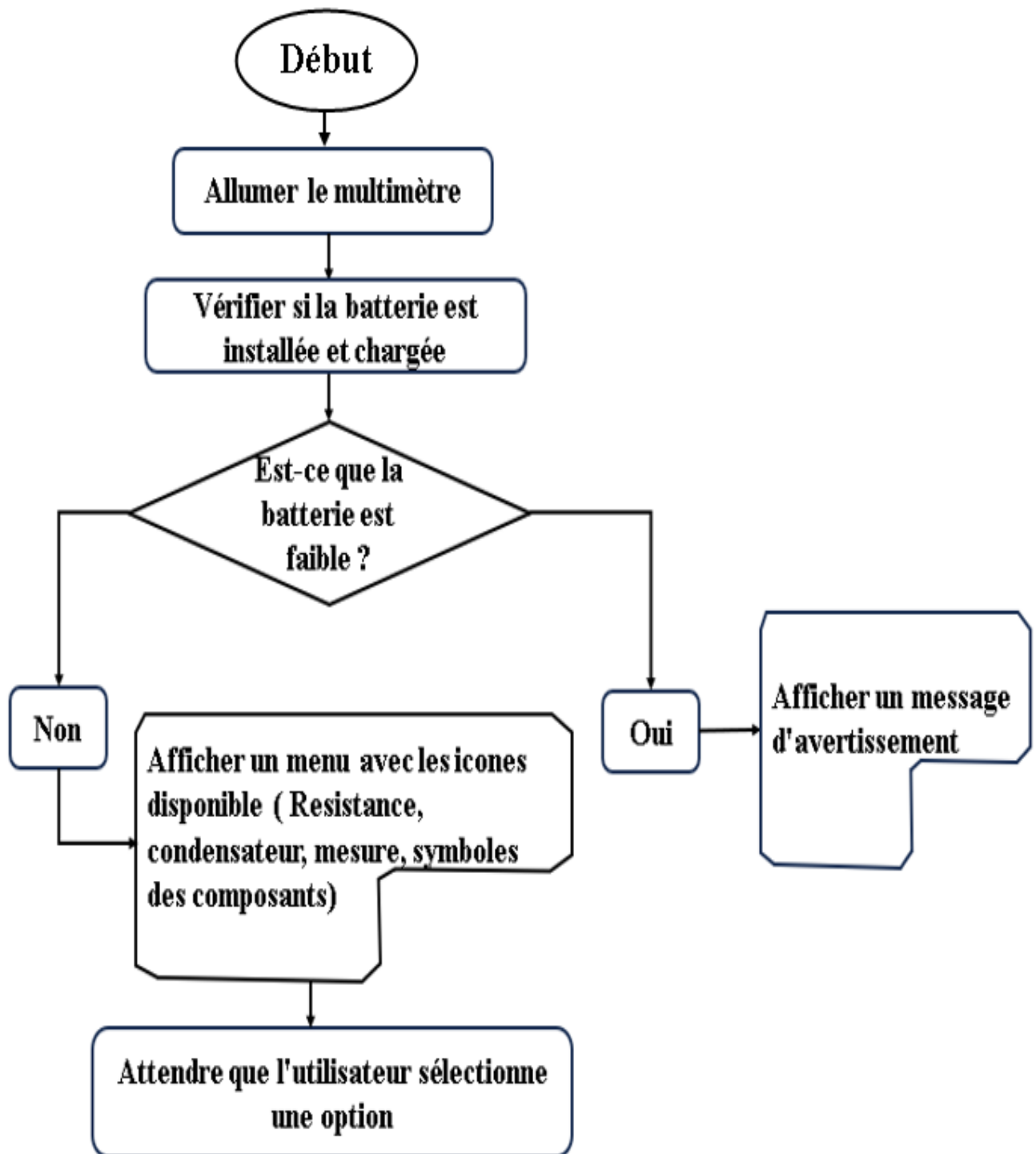


Figure III.14 : L'organigramme du menu principal

IV.2 L'organigramme du choix de l'icône de résistance :

Cet organigramme décrit la méthode que l'utilisateur doit suivre pour déterminer la valeur de la résistance à partir des couleurs affichées sur l'écran de notre produit.

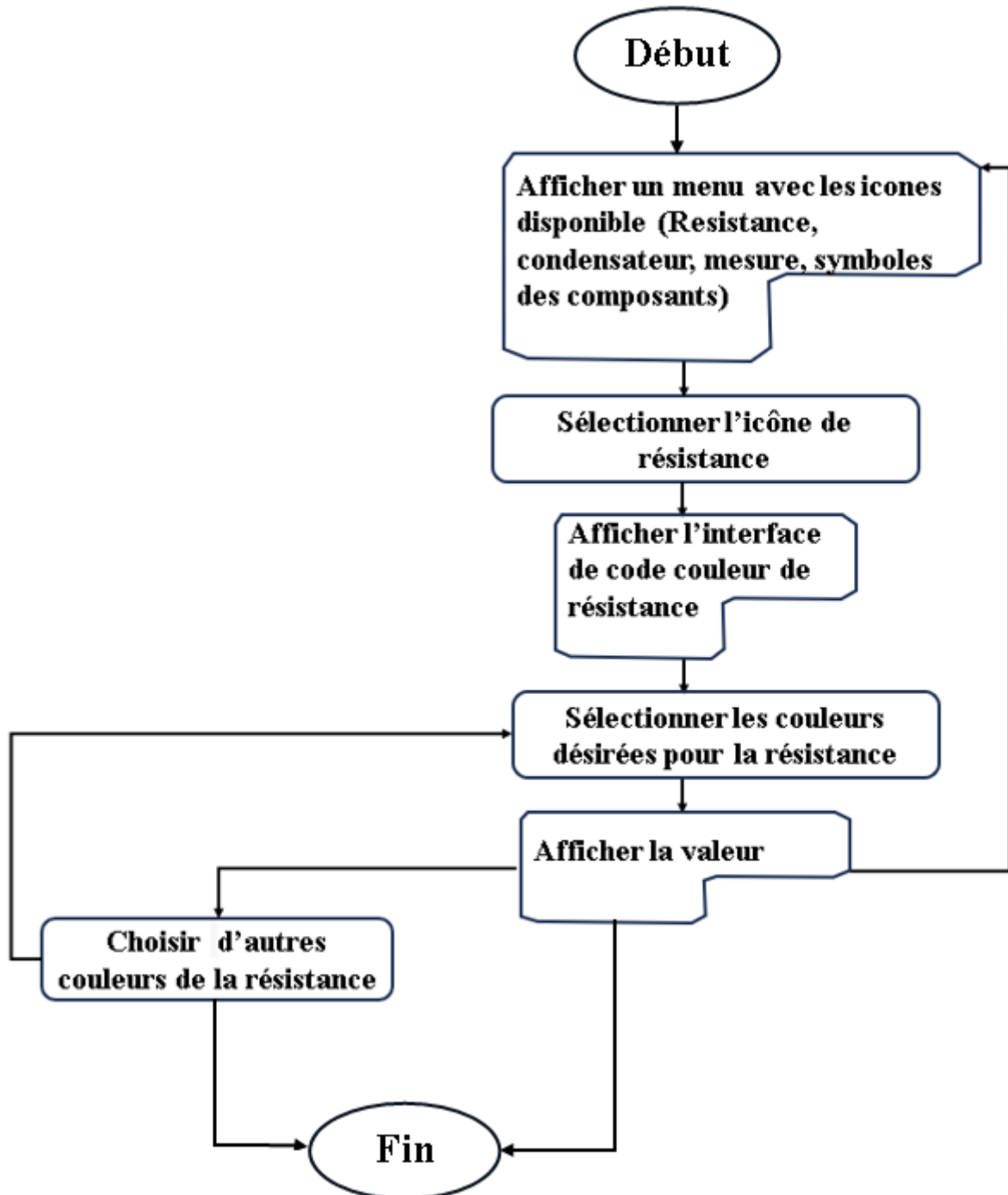


Figure III.15 : L'organigramme de choix de l'icône de résistance

IV.3. L'organigramme du choix de l'icône du condensateur :

Cet organigramme présente la méthode que l'utilisateur doit suivre pour déterminer la valeur du condensateur en sélectionnant les chiffres souhaités.

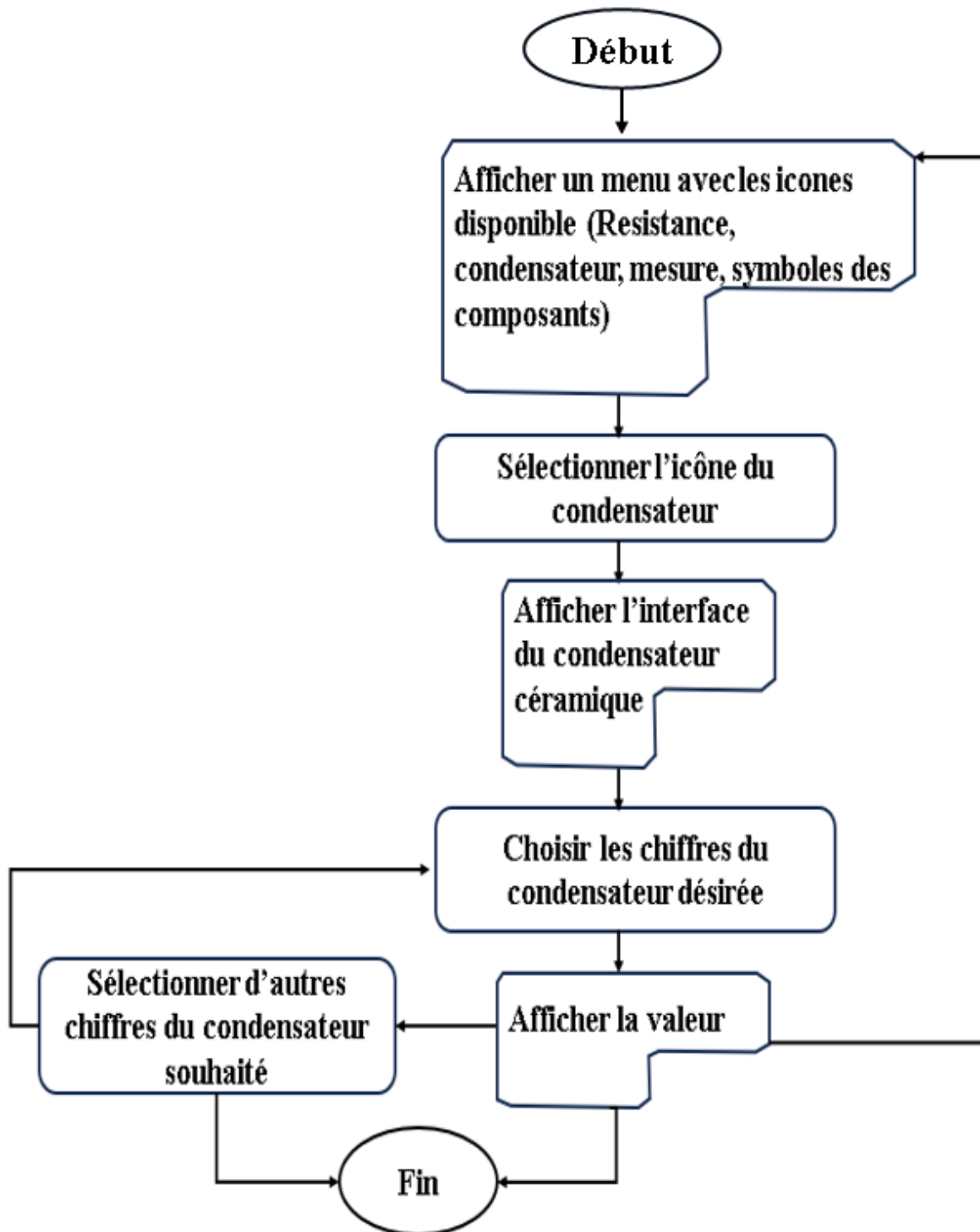


Figure III.16 : L'organigramme de choix de l'icône du condensateur

IV.4 L'organigramme du choix de l'icône des tableaux de l'appareillage électrique et des composants électronique :

Cet organigramme présente la méthode d'utilisation de l'expérience utilisateur (UX) pour les tableaux. Le premier tableau contient divers composants électroniques avec leurs descriptions et leurs apparences externes, facilitant ainsi leur identification. Le deuxième tableau répertorie l'appareillage électrique des différents dispositifs électriques, permettant de connaître les équipements souhaités sans avoir à consulter une source externe.

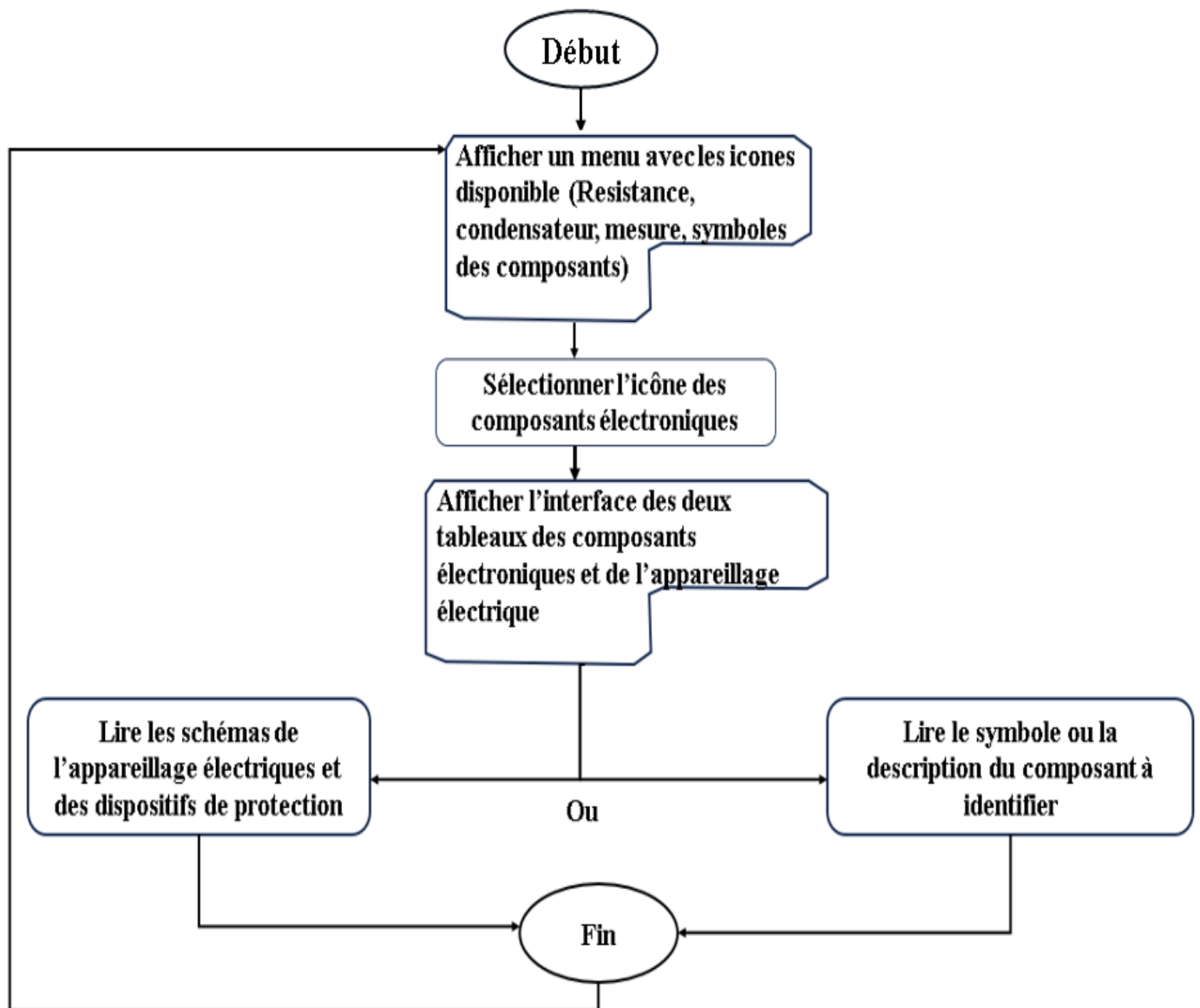


Figure III.17 : L'organigramme de choix de l'icône des tableaux de lecture des composants électronique

IV.5 L'organigramme du choix de l'icône de mesure :

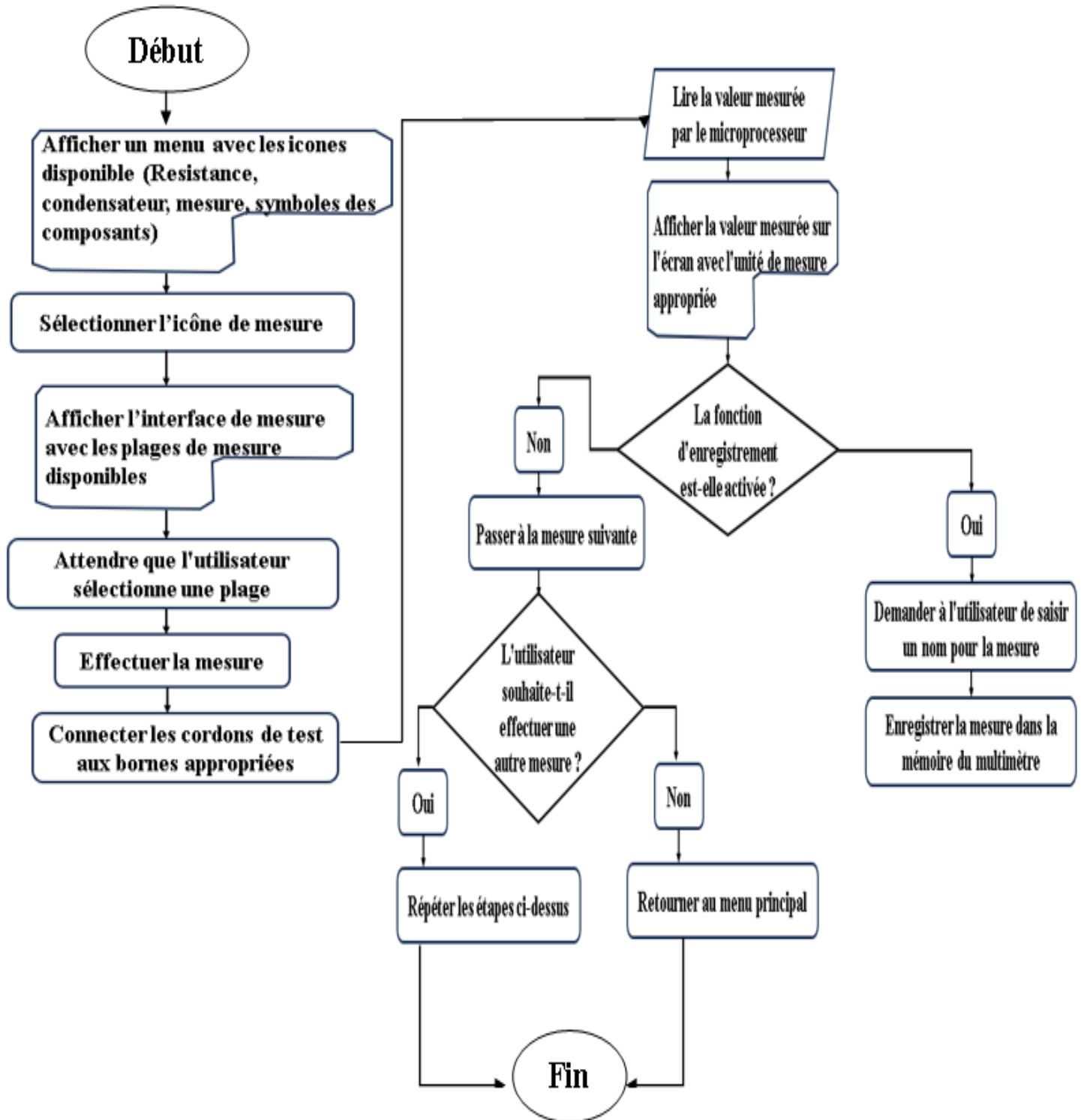


Figure III.18 : L'organigramme de choix de l'icône de mesure

Conclusion :

Le développement de ce multimètre intelligent marque une étape importante dans la modernisation des outils de mesure. Les innovations techniques et graphiques présentées dans ce chapitre démontrent le potentiel de cet appareil pour répondre aux besoins des utilisateurs actuels et futurs, tout en ouvrant la voie à de nouvelles applications et améliorations dans le domaine des instruments de mesure électroniques.

La conception du multimètre tactile est une étape importante qui permet de dresser les objectifs à atteindre, elle peut également être modelée ou modifiée selon les innovations désirées. Sur la base des icônes choisies pour la mesure de grandeurs électriques et des caractéristiques des composants électriques, on se propose dans le chapitre qui suit, de réaliser le multimètre tactile “Fleuvectron”.

CHAPITRE IV : Réalisation du projet

Introduction :

La réalisation est une étape qui suit la conception. Elle vise à mettre en œuvre l'application conformément à la conception et aux études préalablement réalisées. Ce chapitre examine les différentes étapes nécessaires pour atteindre notre objectif et simplifier la mise en œuvre de notre projet.

Nous amorçons notre projet en suivant une méthodologie rigoureuse. Tout d'abord, nous entreprenons une recherche approfondie d'informations bibliographiques, informatique et techniques afin d'atteindre nos objectifs. Ensuite, nous procédons à la programmation du logiciel de fonctionnement du multimètre sur le circuit imprimé, ainsi que du programme de l'application mobile sur le Raspberry Pi. Une fois que le programme a été compilé avec succès, nous passons à la troisième étape où nous réalisons l'assemblage du circuit imprimé et du Raspberry Pi avec l'écran tactile. Ce sont les étapes que nous suivons pour réaliser notre multimètre tactile de "Fleuvectron".

I. Réalisation du dispositif

Notre multimètre, baptisé "Fleuvectron", intègre un moniteur principal équipé d'un écran tactile de 7 pouces. Cet écran affiche une résolution native de 1024x600 pixels (soit 614 400 points) et offre un angle de champ de vision étendu de 178 degrés, garantissant ainsi une excellente qualité d'image dynamique. Les connexions d'entrée des sondes sont spécifiquement conçues pour accueillir les sondes de mesure des grandeurs électriques. Une fois ces mesures effectuées, elles sont transmises aux circuits imprime (PCB) où elles sont traitées et converties en fonction des calculs réalisés par le microcontrôleur.

De plus, notre dispositif comporte un bouton d'allumage situé dans le coin supérieur gauche de l'appareil, nécessitant une pression de trois secondes pour activer le dispositif. En outre, il est doté d'un couvercle facilement amovible pour permettre l'entretien des circuits ou des composants externes du multimètre. Enfin, notre multimètre intègre également une fonctionnalité NCV (détection de tension sans contact). Ce système avancé permet de mesurer la tension électrique sans avoir à approcher directement les sondes des équipements, contribuant ainsi à une sécurité accrue lors de l'inspection des appareils électriques.

Les figures IV.1 et IV.2 illustrent les vues de faces et de dessus du multimètre à réaliser.

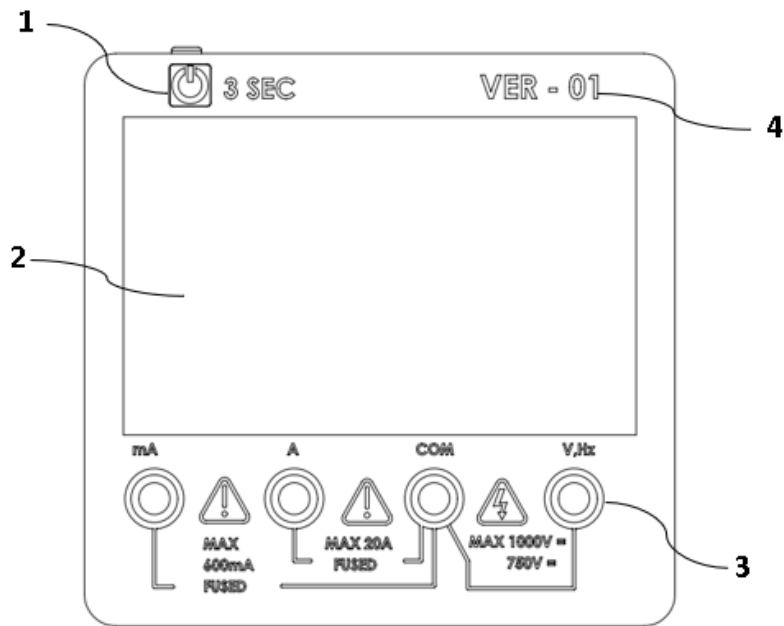


Figure IV.1 : La vue de face du produit

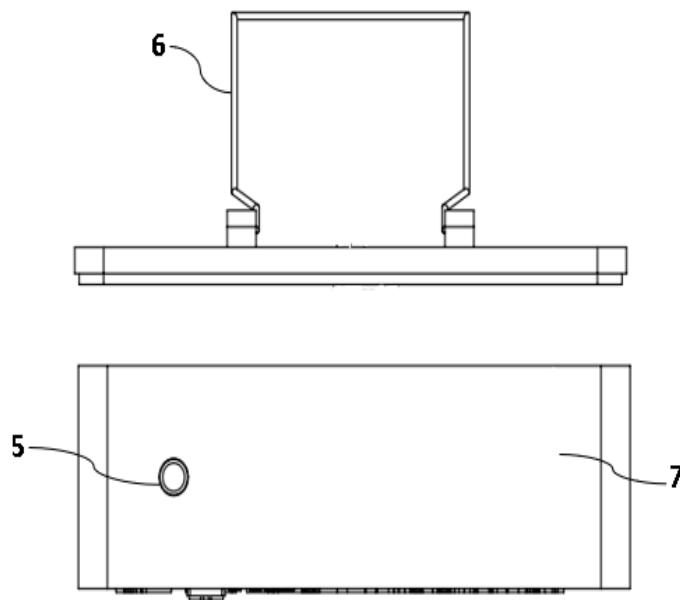


Figure IV.2 : La vue de dessus du produit

- 1) Le bouton d'allumage
- 2) Le moniteur tactile

- 3) Les connexions d'entrée des sondes
- 4) VER-01 signifie la version 01 du produit
- 5) NCV = No Contact Voltage
- 6) Un support de protection spécialisé destiné à prévenir les dommages causés au produit par des chutes accidentelles
- 7) Un boîtier externe conçu pour protéger les composants internes contre les agressions extérieures conçu conformément à l'indice de protection IP66.

II. Configuration de l'écran Waveshare HMDI (H) 7 pouces

II.1 Présentation du logiciel 'Raspberry pi imager :

Raspberry Pi Imager est un outil créé par la Fondation Raspberry Pi pour installer de nouveaux systèmes sur Raspberry Pi. Les cartes SD et les disques USB sont pris en charge, ainsi que les systèmes d'exploitation les plus courants. Il est conçu pour simplifier le processus de création de cartes SD avec des systèmes d'exploitation compatibles pour les appareils Raspberry Pi.

Le logiciel Raspberry Pi Imager présente une interface conviviale et intuitive, ce qui le rend accessible même aux utilisateurs ayant une expérience technique limitée. En plus des systèmes d'exploitation préconfigurés, il permet la gravure d'images ISO ou IMG personnalisées. Ces images sont écrites directement sur la carte SD ou tout autre support de stockage compatible, simplifiant ainsi le processus de création de manière rapide et sans effort.[50]

II.2 Utilisation du Raspberry Pi Imager :

1. Téléchargement et installation :

Nous téléchargeons le Raspberry Pi Imager depuis le site officiel du Raspberry Pi et l'installons sur l'ordinateur (compatible avec Windows, macOS et Linux), la figure IV.3 illustre la page du site officiel.[50]

Install Raspberry Pi OS using Raspberry Pi Imager

Raspberry Pi Imager is the quick and easy way to install Raspberry Pi OS and other operating systems to a microSD card, ready to use with your Raspberry Pi.

Download and install Raspberry Pi Imager to a computer with an SD card reader. Put the SD card you'll use with your Raspberry Pi into the reader and run Raspberry Pi Imager.

Download for Windows

[Download for macOS](#)

[Download for Ubuntu for x86](#)



Figure IV.3 : La page du site officiel de Raspberry pi OS.



Figure IV.4 : La fenêtre d'installation de Raspberry pi Imager

2. Lancement du logiciel :

Après l'installation du logiciel, nous ouvrons le Raspberry Pi Imager.

3. Choix du système d'exploitation :

Nous cliquons sur “Choisir L'OS” pour sélectionner le système d'exploitation que nous souhaitons installer. La figure ci-dessous illustre le système d'exploitation du Raspberry Pi Imager

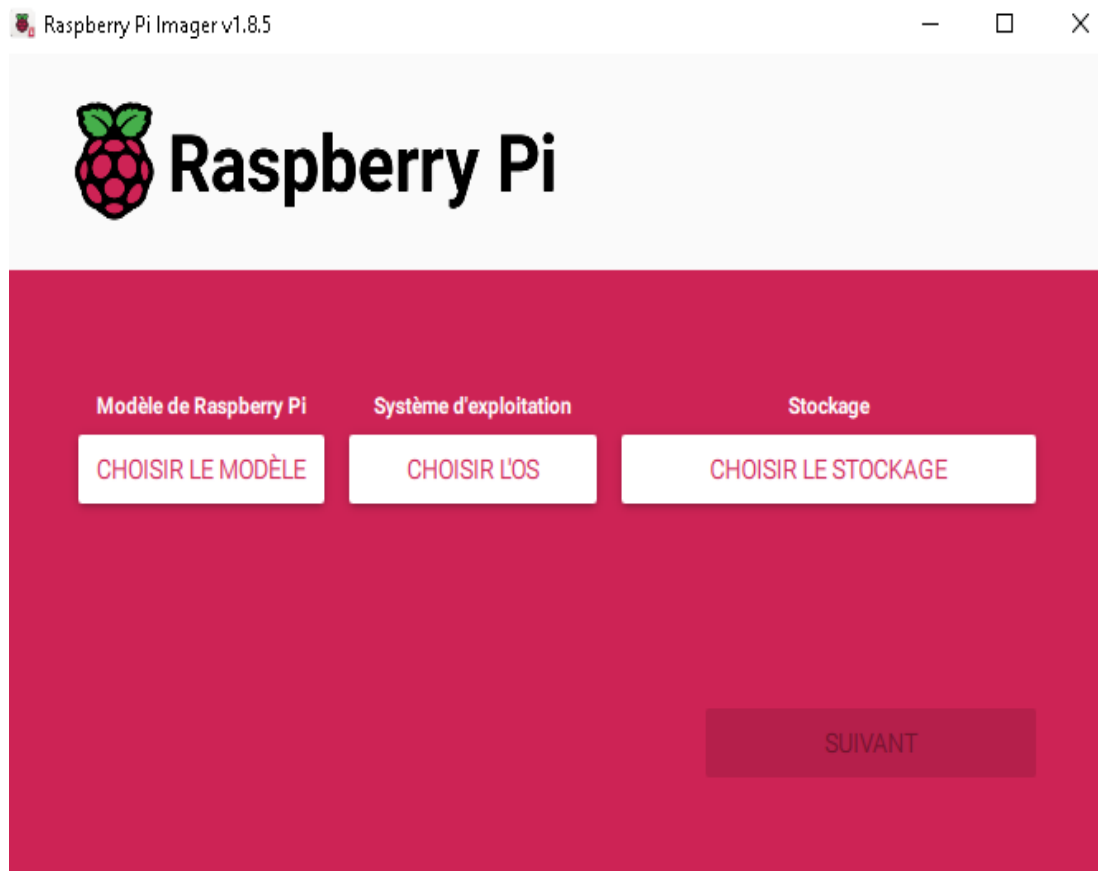


Figure IV.5 : Le système d'exploitation du Raspberry Pi Imager

4. Sélection de la carte SD :

Nous insérons la carte SD dans l'ordinateur et cliquons sur “Choisir le stockage” pour la sélectionner.

5. Écriture de l'image :

Nous cliquons sur “Suivant” pour commencer à écrire l'image sur la carte SD. Le logiciel téléchargera l'image et l'écrira sur la carte.

6. Validation :

Une fois le processus terminé, nous pouvons insérer la carte SD dans notre Raspberry Pi, et démarrer le Raspberry Pi 4 model B et l'écran avec le nouveau système d'exploitation. La figure ci-dessous représente l'état initial de l'écran après la configuration.

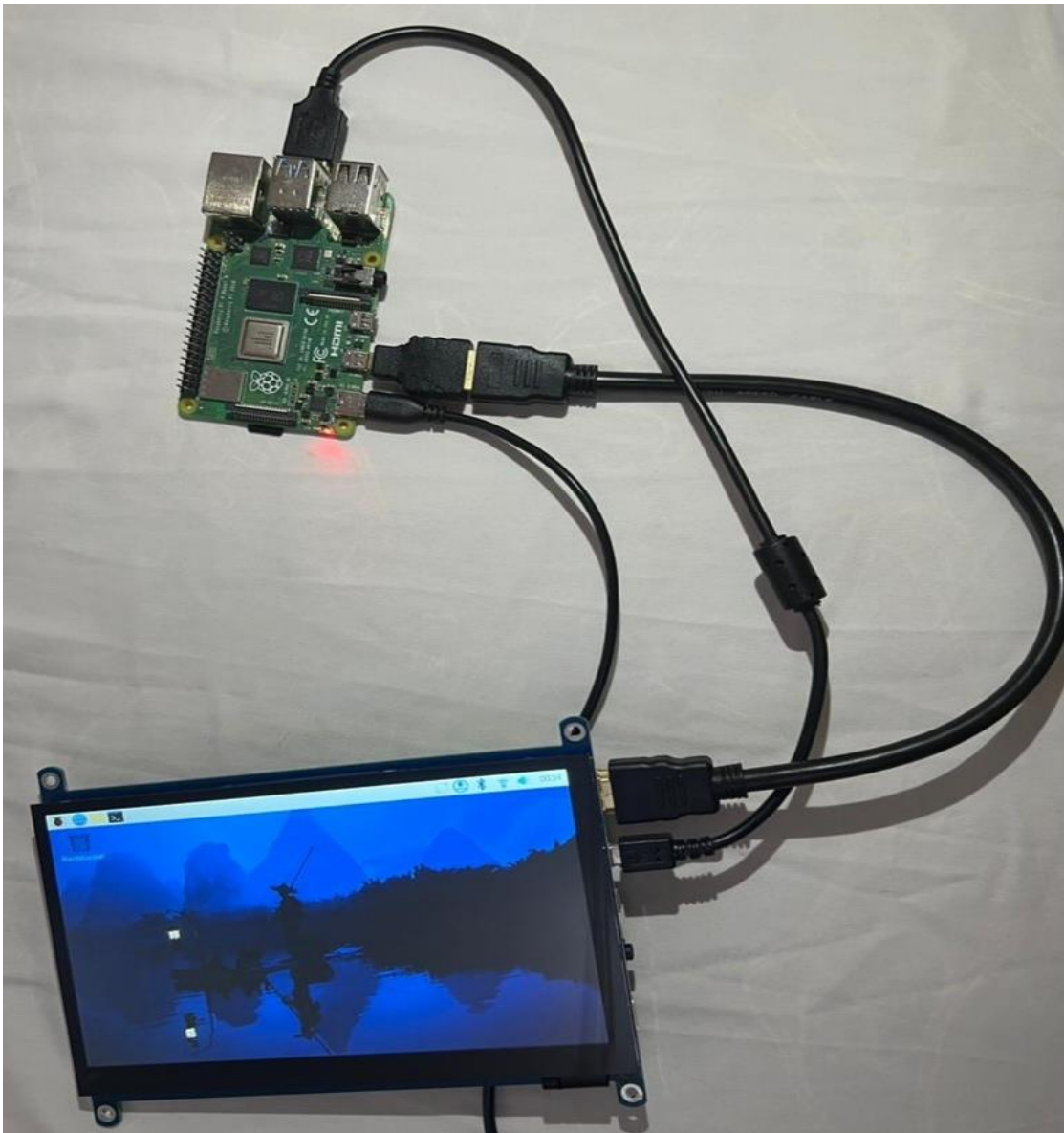


Figure IV.6 : L'état initial de l'écran après la configuration

II.3. Le code de configuration :

Le code de configuration du Raspberry Pi :

```
# Automatically load overlays for detected cameras
camera_auto_detect=1

# Automatically load overlays for detected DSI displays
display_auto_detect=1

# Automatically load initramfs files, if found
auto_initramfs=1

# Enable DRM VC4 V3D driver
dtoverlay=vc4-kms-v3d
max_framebuffers=2

# Don't have the firmware create an initial video= setting in cmdline.txt.
# Use the kernel's default instead.
disable_fw_kms_setup=1

# Run in 64-bit mode
arm_64bit=1

# Disable compensation for displays with overscan
disable_overscan=1

# Run as fast as firmware / board allows
arm_boost=1

[cm4]
# Enable host mode on the 2711 built-in XHCI USB controller.
# This line should be removed if the legacy DWC2 controller is required
# (e.g. for USB device mode) or if USB support is not required.
otg_mode=1

[cm5]
dtoverlay=dwc2,dr_mode=host

[all]
hdmi_force_hotplug=1
config_hdmi_boost=10
hdmi_group=2
hdmi_mode=87
hdmi_cvt 1024 600 60 6 0 0 0
```

II.4. Synoptique de programmation du Raspberry Pi :

La figure IV.7. Donne une vue d'ensemble de processus de configuration de l'écran tactile, qui se décompose en deux étapes principales. La première étape consiste en la programmation de la carte SD, tandis que la seconde étape inclut l'insertion de la carte SD suivie de l'allumage de l'écran, conformément au programme contenu dans la carte

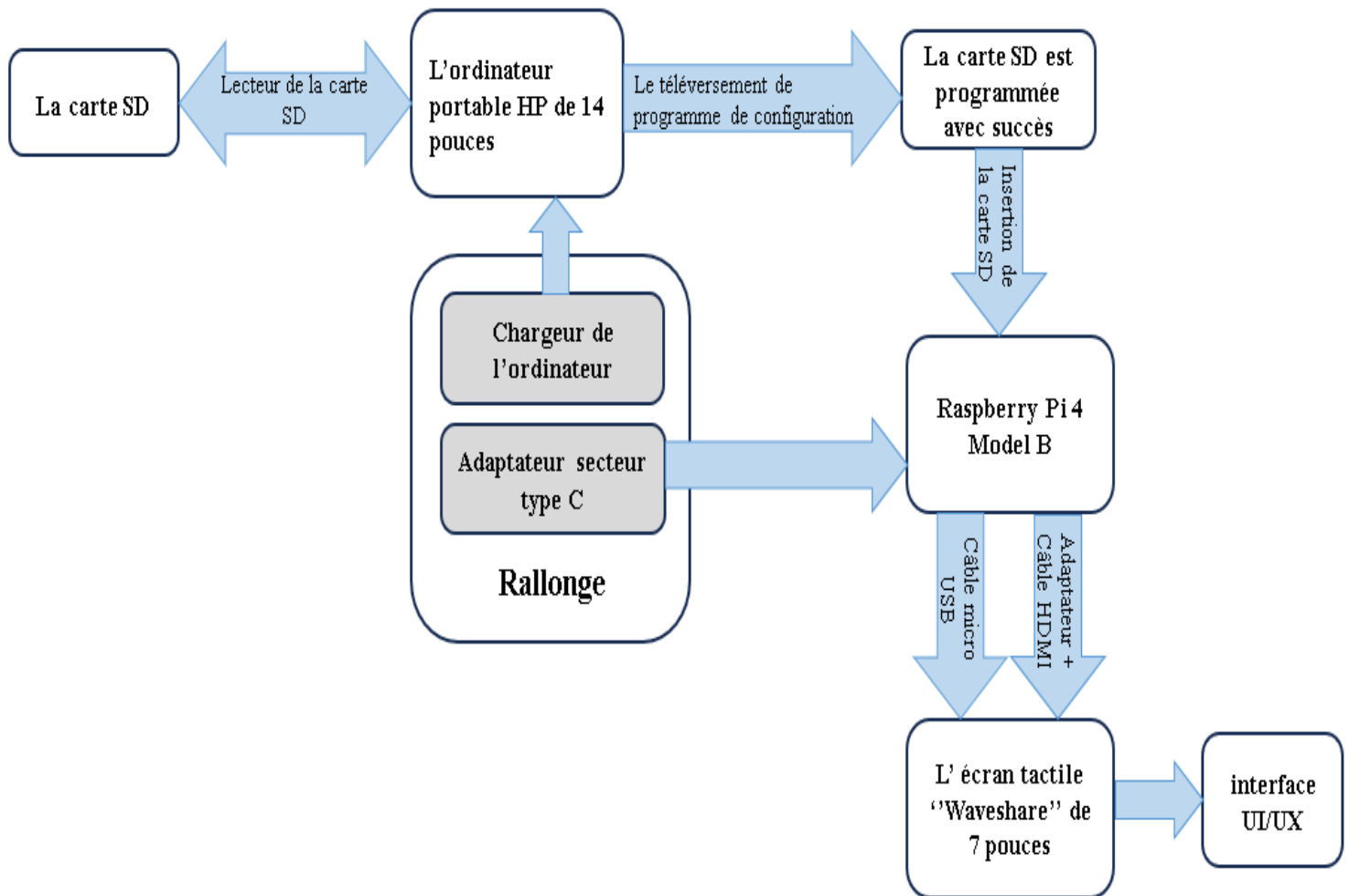


Figure IV.7 : Le schéma synoptique du processus de configuration de l'écran tactile de multimètre

II. Compilation et réalisation :

II.1. Arduino Nano :

II.1.1 Définition :

L'Arduino Nano est une carte équipée d'un microcontrôleur, l'ATMega368, couplé à un quartz de 16 MHz, similaire à celui de l'Arduino UNO. Les cartes Arduino sont réputées pour leur facilité d'apprentissage et leur fiabilité. L'Arduino Nano est l'une des plus petites cartes de la gamme, ce qui la rend particulièrement adaptée aux projets de petite taille ou aux intégrations

finales nécessitant un encombrement minimal. Avec des dimensions de seulement 18x45 mm et un poids de 7 grammes, elle se connecte et se programme aisément via un câble mini USB, très répandu et pratique. De plus, grâce à sa taille compacte, elle est idéale pour les projets nécessitant une solution discrète mais puissante.[51]

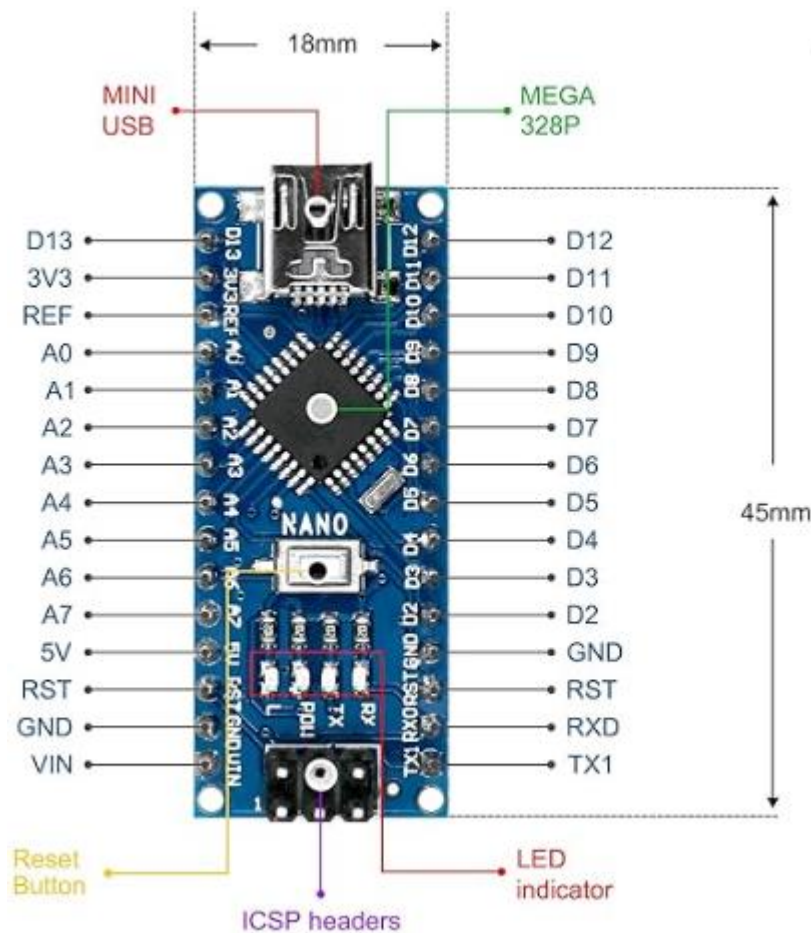


Figure.VI.8 : Arduino Nano.[52]

II.1.2 Les caractéristiques techniques :

- **Microcontrôleur** : ATmega328P (8 bits, famille AVR)
- **Tension de fonctionnement** : 5V
- **Tension d'entrée recommandée** : 7-12V
- **Broches d'entrée analogique** : 6 (A0 à A5)

- **Broches d'E/S numériques** : 14 (dont 6 peuvent fournir une sortie PWM)
- **Mémoire Flash** : 32 KB
- **SRAM** : 2 KB
- **EEPROM** : 1 KB
- **Fréquence d'horloge** : 16 MHz
- **Communication** : I2C, SPI, USART
- **Connecteur USB** : Mini-B USB.[53]

II.1.3 Le rôle de l'Arduino Nano dans le projet :

II.1.3.1 Le rôle principale :

Notre multimètre utilise deux logiciels : le premier pour les fonctions de mesure classiques du multimètre, et le second pour l'application mobile. Mais comment compiler ces deux programmes ? C'est ici que l'Arduino Nano intervient, jouant le rôle d'intermédiaire grâce à la communication asynchrone récepteur-transmetteur, car il dispose de la communication USART parmi ses caractéristiques. Il est important de noter que l'UART ne prend en charge que la communication asynchrone, ce qui signifie qu'il n'utilise pas de signal d'horloge pour synchroniser les données entre l'émetteur et le récepteur. Les données transmises par l'UART sont organisées en paquets. Chaque paquet comprend un bit de départ et entre 5 et 9 bits de données, selon la configuration de l'UART.

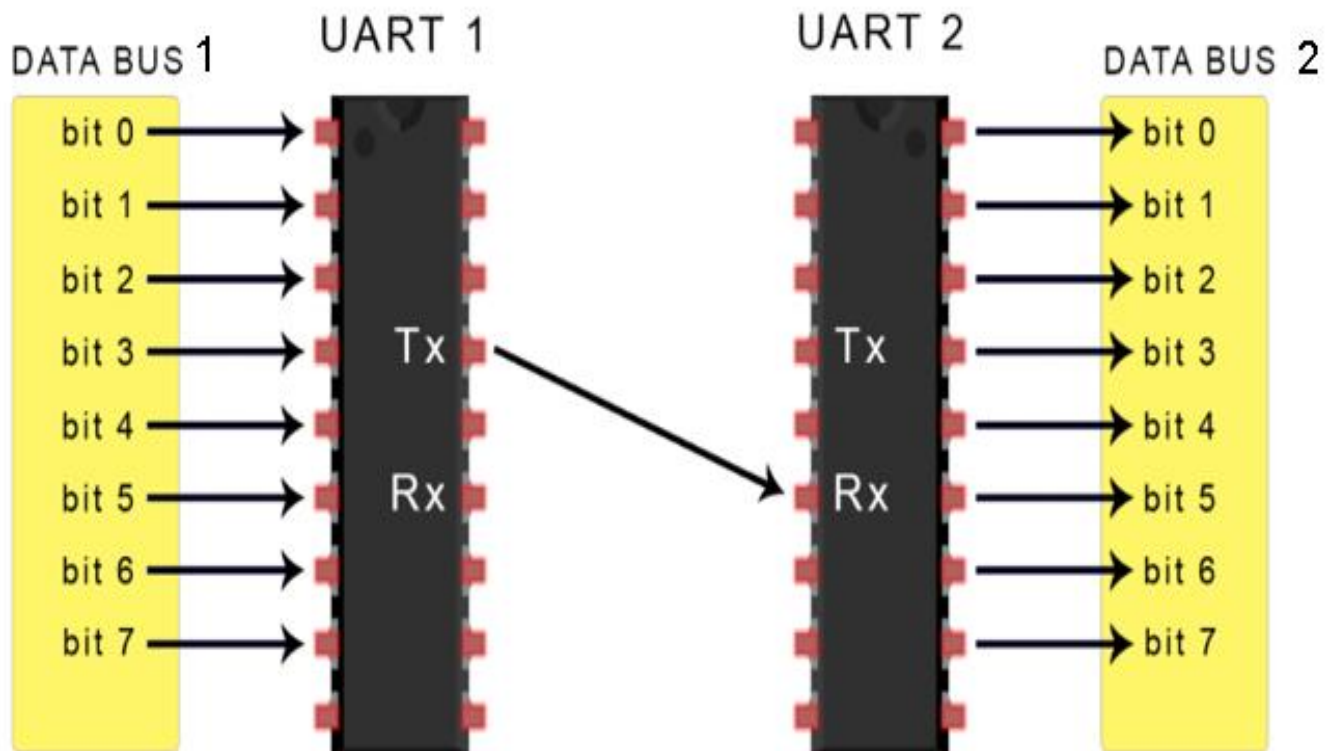
En revanche, l'USART peut fonctionner en mode asynchrone ou synchrone. En mode synchrone, un signal d'horloge est utilisé pour synchroniser les données, permettant des taux de transfert plus élevés. Étant donné que nous utilisons uniquement la communication asynchrone dans notre appareil de mesure pour permettre des mesures en temps réel, l'Arduino Nano est un excellent choix pour ce cas précis et pour les perspectives futures du projet.

II.1.3.2 La communication UART :

Un canal UART se compose de deux lignes de données distinctes : une broche RX (Réception) et une broche TX (Transmission) sur chaque appareil. La broche RX d'un appareil est connectée à la broche TX de l'autre appareil, et vice versa, pour permettre la communication. Il est important de noter que le protocole UART ne nécessite pas de ligne d'horloge partagée entre les appareils, ce qui en fait un protocole de communication asynchrone. Chaque bit de données est transmis séquentiellement, bit par bit, sur la ligne de

signal. Dans ce protocole, un état haut sur la ligne de signal représente un '1' binaire, tandis qu'un état bas représente un '0'. L'absence de synchronisation d'horloge est ce qui caractérise l'aspect "asynchrone" du UART, rendant nécessaire une configuration précise des taux de transmission pour assurer une communication correcte entre les appareils.

La figure suivante illustre le protocole de communication UART.[54]



Figures VI.9 : Le protocole de communication UART.[55]

La figure ci-dessus présente le protocole de communication UART entre les broches de communication de deux modules. Dans le cadre de notre projet :

DATA BUS 1 représente le PCB, qui est responsable de la collecte des mesures électroniques à partir des sondes du multimètre.

L'UART 1 représente l'Arduino Nano, qui transmet les données provenant du PCB.

L'UART 2 représente le Raspberry Pi, qui reçoit les données de l'Arduino Nano pour les traiter au niveau du microprocesseur et les envoyer au DATA BUS 2 qui est l'écran tactile, afin d'afficher les valeurs mesurées par les sondes reliées au PCB.

II.1.3.3 Synoptique d'assemblage du circuit imprimé et du Raspberry Pi avec l'écran tactile :

La figure VI.10. Présente une vue d'ensemble de l'assemblage du circuit imprimé et du Raspberry Pi avec l'écran tactile.

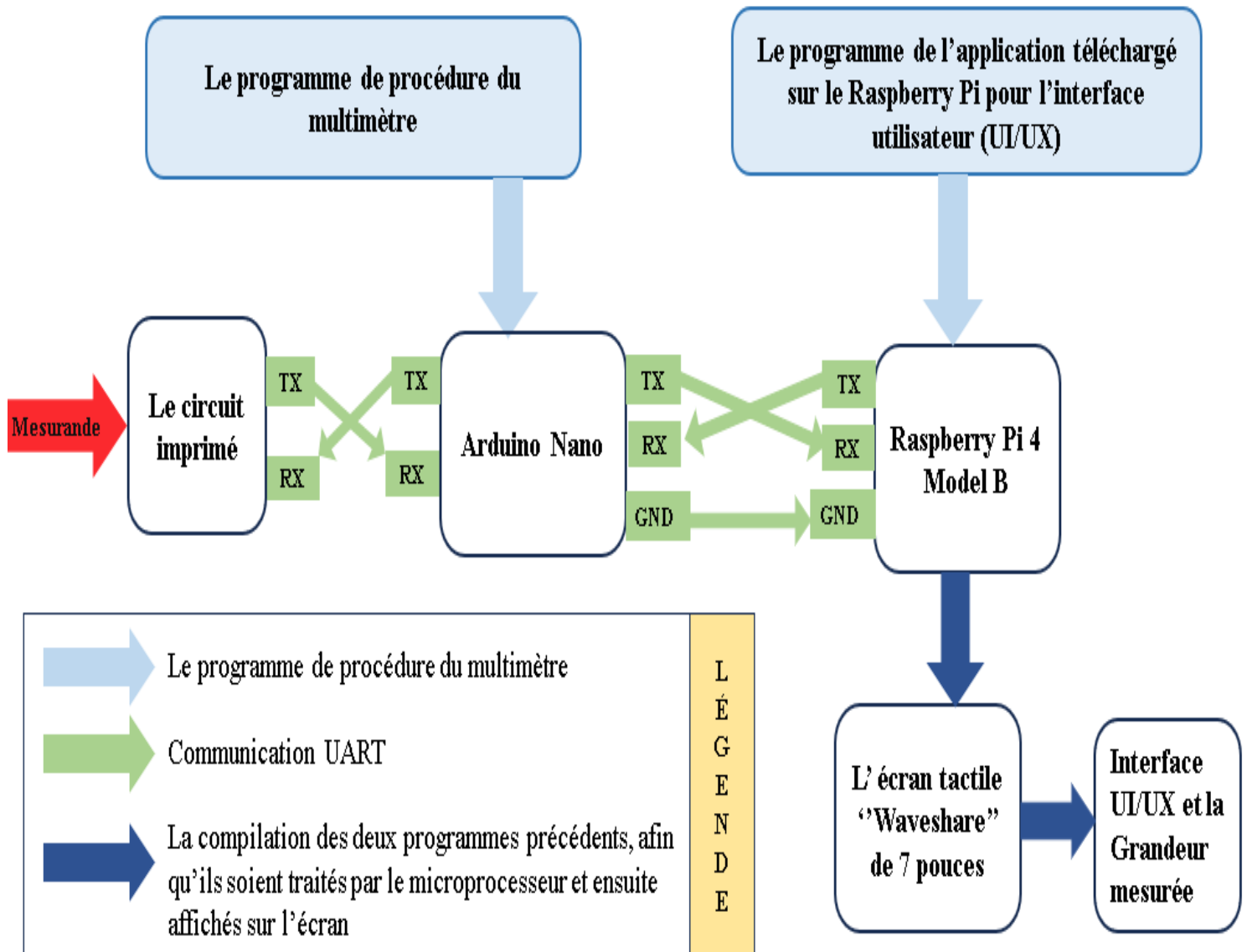


Figure IV.10 : Le schéma synoptique d'assemblage du circuit imprimé et du Raspberry Pi avec l'écran tactile

II.2 Le circuit imprimé de notre multimètre :

II.2.1 La définition du circuit imprimé :

Un circuit imprimé (ou PCB pour "Printed Circuit Board" en anglais) est une plaque utilisée pour connecter électroniquement et mécaniquement des composants électroniques. Le circuit imprimé est généralement composé d'une ou plusieurs couches de cuivre gravées sur un substrat non conducteur, comme la fibre de verre. Les pistes de cuivre sur le PCB agissent comme des fils pour relier les différents composants, tels que les résistances, condensateurs, microcontrôleur et autres dispositifs électroniques.

Les circuits imprimés sont utilisés dans presque tous les appareils électroniques, des ordinateurs et smartphones aux appareils électroménagers et aux véhicules. Ils permettent de réduire la taille des appareils, d'améliorer la fiabilité des connexions et de faciliter la production en série des équipements électroniques.

II.2.2 Pourquoi le PCB pour notre projet ? :

Notre multimètre nécessite un circuit capable de transmettre les grandeurs électroniques mesurées au microprocesseur. C'est le rôle de notre circuit imprimé, personnalisé selon nos besoins spécifiques. Nous avons donc conçu un circuit imprimé intégrant des composants électroniques fiables et adaptés aux exigences de nos clients. La figure suivante montre la photo 3D du PCB de notre multimètre générée à partir du logiciel KiCad.

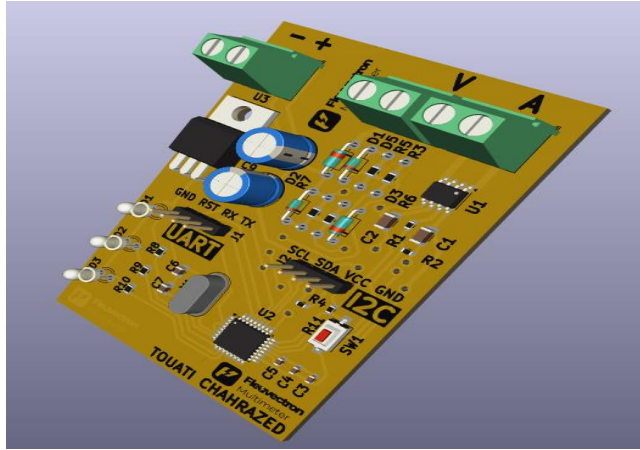


Figure IV.11 : L'image 3D du PCB de multimètre "Fleuvectron"

II.2.3 Le logiciel KiCad pour la conception du circuit imprimé :

Pour la conception de circuits imprimés, il existe de nombreux outils disponibles. Pour la conception du PCB de notre multimètre, nous avons opté pour l'utilisation de KiCad.

KiCad est un logiciel open-source robuste utilisé pour la conception de schémas électroniques et de circuits imprimés (PCB). Il propose une suite d'outils complets permettant de créer des circuits imprimés de qualité professionnelle, avec des fonctionnalités telles que l'édition de schémas, la conception de PCB, la visualisation 3D, et la simulation électrique. En plus de ces outils, KiCad se distingue par sa flexibilité, son large éventail de bibliothèques de composants, et sa capacité à gérer des projets de toutes tailles, qu'il s'agisse de simples circuits ou de systèmes complexes.[56]

Voici quelques-unes des fonctionnalités principales de KiCad :

- **Éditeur de schémas** : Facilite la création de schémas électroniques, qu'ils soient simples ou complexes, en offrant une interface intuitive et un accès à une vaste bibliothèque de composants.
- **Éditeur de PCB** : Permet la conception de circuits imprimés avec des outils de routage interactifs, une gestion des contraintes avancée, et des options de visualisation améliorées pour optimiser le placement des composants.
- **Visualiseur 3D** : Offre une visualisation en trois dimensions du PCB, permettant de vérifier l'ajustement mécanique, d'identifier les interférences potentielles et de prévisualiser l'apparence finale du produit.

- **Simulation SPICE** : Intègre un simulateur SPICE pour tester et valider le comportement électrique des circuits avant leur fabrication.
- **Gestion des bibliothèques** : Inclut un vaste éventail de bibliothèques de composants que l'utilisateur peut personnaliser ou étendre selon ses besoins, facilitant ainsi la réutilisation des conceptions.
- **Support multi-feuille et hiérarchique** : KiCad permet la création de projets complexes grâce à la prise en charge des schémas multi-feuilles et des conceptions hiérarchiques, ce qui aide à organiser les projets de grande envergure de manière plus efficace.
- **Exportation et fabrication** : KiCad prend en charge l'exportation vers différents formats de fichiers standard de l'industrie, ce qui facilite la transition vers la production des PCB.

Ce logiciel est largement utilisé par les amateurs et les professionnels de l'électronique pour concevoir des circuits imprimés, des petits projets DIY aux systèmes électroniques industriels complexes.



Figure VI.12 : Le logo de logiciel KiCad.[57]

II.2.4 Les schémas électronique du circuit imprimé conçu avec KiCad :

Dans notre conception de PCB, nous utilisons le microcontrôleur ATmega 328P-A, qui présente un avantage significatif pour notre multimètre grâce à son architecture RISC modifiée et ses nombreuses fonctionnalités clés :

- **Mémoire Flash** : 32 KB avec capacités de lecture-écriture.
- **EEPROM** : 1 KB.
- **SRAM** : 2 KB.

- **Lignes d'E/S** : 23 lignes d'entrée/sortie générales.
- **Convertisseur A/N** : 6 canaux 10 bits.
- **Interfaces de communication** : USART programmable, interface série à deux fils (I2C), port série SPI.
- **Minuterie/Compteurs** : Trois minuteries/compteurs flexibles avec modes de comparaison. Nous avons également conçu les schémas électroniques des sondes de tension et de courant, ainsi que la sonde de polarité (positive ou négative), et les jumpers, qui sont des connecteurs permettant de configurer ou de modifier les connexions sur un circuit imprimé. Cela rend notre multimètre prêt à effectuer des mesures électroniques. Les figures ci-dessous illustrent les schémas électroniques de ces composants mentionnés précédemment.

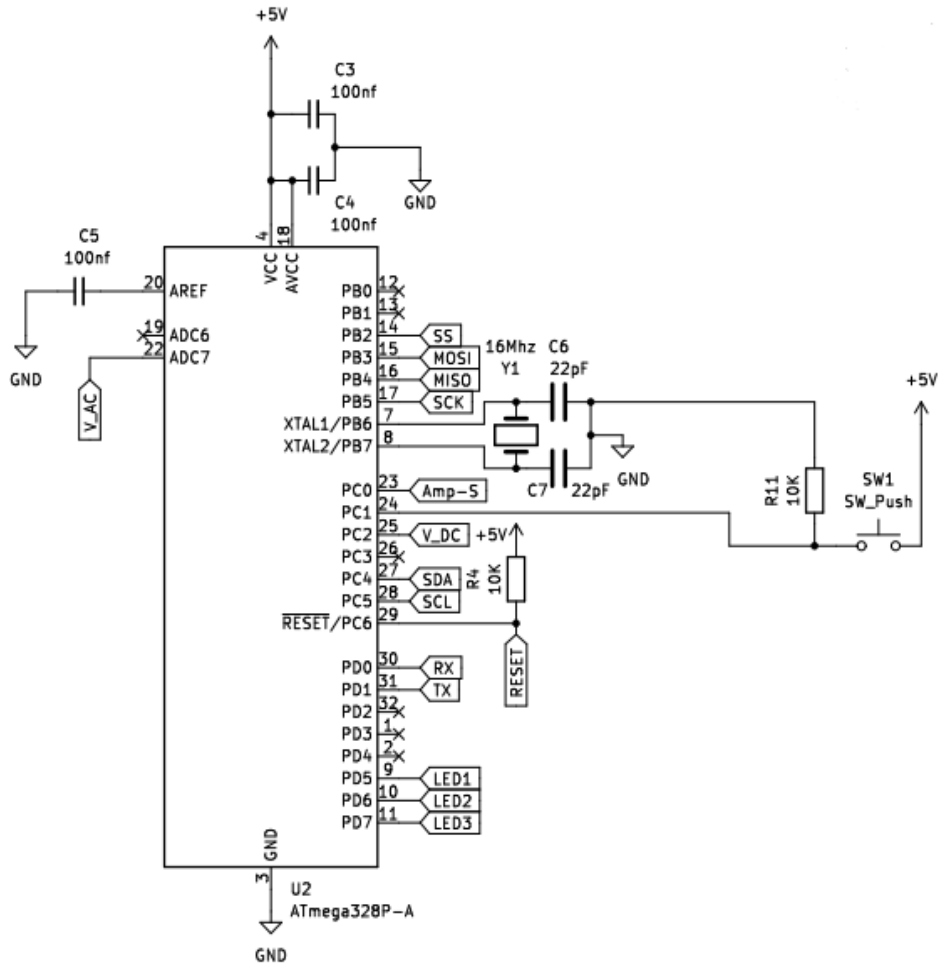


Figure VI.13 : Le schéma électronique de microcontrôleur ATmega 328P-A

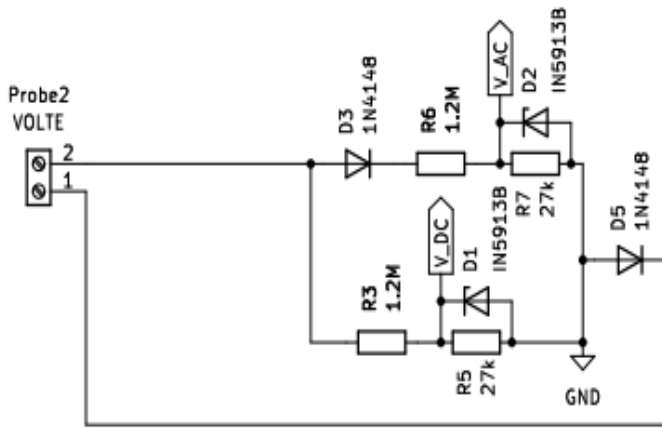
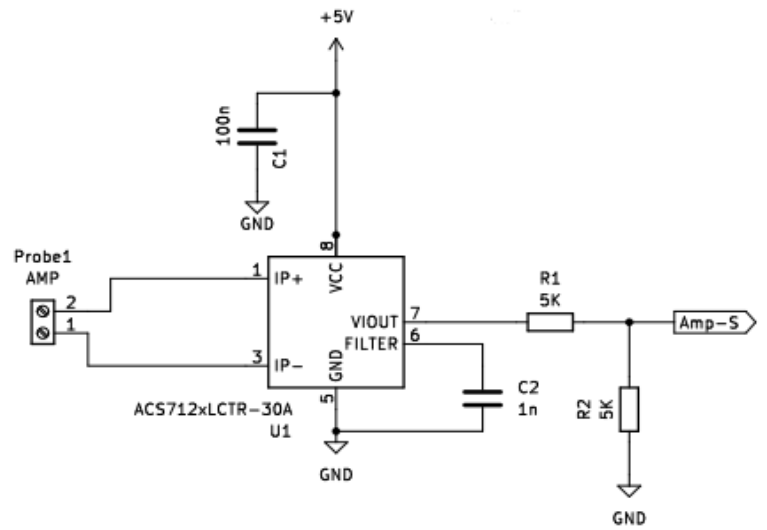
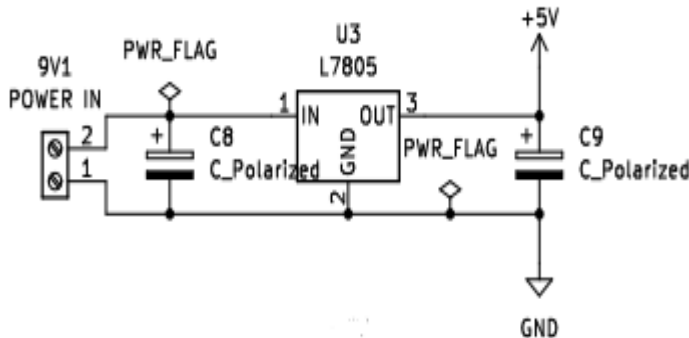


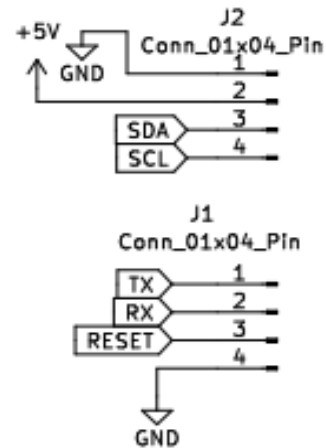
Figure VI.14 : Le schéma de la sonde de voltmètre



FigureVI.15 : Le schéma de la sonde d'ampèremètre



FigureVI.16 : Le schéma de la sonde négative



FigureVI.17 : Le schéma des connecteurs (Jumpers)

II.2.5 Les étapes d'assemblage de PCB :

Après la conception du circuit imprimé (PCB) à l'aide de KiCad, nous procédons à la sélection des composants et à leur assemblage, selon les étapes suivantes :

1. Vérification des Spécifications : Nous vérifions les spécifications du PCB, telles que le nombre de couches, l'épaisseur du cuivre et les finitions de surface.

2. Sélection des Composants : Nous sélectionnons les composants appropriés en fonction des plages de mesure souhaitées (tension, courant, résistance, etc.).
3. Routage des Traces : Nous réalisons le routage des composants en traçant des pistes de cuivre tout en respectant les règles de conception pour éviter les courts-circuits et minimiser les interférences.
4. Assemblage des Composants : Les composants sont soudés sur le PCB soit manuellement à l'aide d'un fer à souder, soit par refusion pour les composants montés en surface. Une machine de placement SMT est utilisée pour positionner les composants sur le PCB. Pour les composants traversants, ils sont insérés manuellement.
5. Inspection Visuelle et Test : Nous procédons à une inspection visuelle du PCB assemblé pour vérifier la qualité des soudures et l'alignement des composants, suivie de tests de continuité et de court-circuit.
6. Programmation du Microcontrôleur :
 - a. Sélection du microcontrôleur ATmega 328P-A.
 - b. Utilisation de l'IDE Arduino pour écrire le firmware.
 - c. Implémentation des fonctionnalités nécessaires pour le multimètre (mesure de tension, courant, résistance, etc.).
 - d. Programmation du microcontrôleur
 - e. Vérification du bon fonctionnement du microcontrôleur avec le PCB assemblé.

Ces étapes permettent de s'assurer que le PCB est correctement assemblé et que le microcontrôleur est correctement programmé pour toutes les fonctionnalités requises.

II.2.6 Le langage utilisé pour la programmation du PCB :

Pour la programmation du microcontrôleur de notre circuit imprimé, nous avons utilisé le langage C. Ce dernier est un langage de programmation généraliste créé par Dennis Ritchie aux Bell Laboratories en 1972.

Malgré son ancienneté, le langage C reste très populaire. Sa popularité s'explique principalement par son rôle fondamental dans le domaine de l'informatique.[58]

II.2.7 Le code de la programmation de PCB :

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2)

const int analogPinDC = A2;
const float R1_DC = 1500000.0;
const float R2_DC = 27000.0;
const float calibrationFactorDC =

const int analogPinAC = A7;
const float R1_AC = 1500000.0;
const float R2_AC = 27000.0;
const int numSamples = 500;
const int smoothingFactor = 10;

const int sensorIn = A0;
int mVperAmp = 66;
double Voltage = 0;
double VRMS = 0;
double AmpsRMS = 0;

int LED_DC = 6;
int LED_AC = 5;
int LED_AMP = 7;
int buttonPin = 13;

String mode = "DC";
int lastButtonState = LOW;
unsigned long lastDebounceTime =
unsigned long debounceDelay = 50;

void setup() {
  Serial.begin(115200);

  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("  WELCOME TO  ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("  FLEUVECTRON  ");
  delay(2000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("CHAHRAZED TOUATI");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("-----*-----");
  delay(2000);
  lcd.clear();

  pinMode(LED_AC, OUTPUT);
  pinMode(LED_DC, OUTPUT);
  pinMode(LED_AMP, OUTPUT);
  pinMode(buttonPin, INPUT);

  digitalWrite(LED_AC, HIGH);
  delay(200);
  digitalWrite(LED_AC, LOW);
  delay(200);
  digitalWrite(LED_DC, HIGH);
  delay(200);
  digitalWrite(LED_DC, LOW);
  delay(200);
  digitalWrite(LED_AMP, HIGH);
  delay(200);
  digitalWrite(LED_AMP, LOW);
  lcd.clear();
}
```

```
void loop() {
```

```
  if (Serial.available() > 0) {
    String input = Serial.readStringUntil('\n');

    if (input == "AC") {
      mode = "AC";
    }
    else if (input == "DC") {
      mode = "DC";
    }
    else if (input == "AMP") {
      mode = "AMP";
    }
  } else {

    int reading = digitalRead(buttonPin);

    if (reading != lastButtonState) {
      lastDebounceTime = millis();
    }

    if ((millis() - lastDebounceTime) > debounceDelay) {
      if (reading == HIGH) {
        if (mode == "DC") {
          mode = "AC";
        } else if (mode == "AC") {
          mode = "AMP";
        } else if (mode == "AMP") {
          mode = "DC";
        }
      }
    }

    lastButtonState = reading;
  }

  if (mode == "AC") {
    measureAC();
  }
  else if (mode == "DC") {
    measureDC();
  }
  else if (mode == "AMP") {
    measureCurrent();
  }

  delay(100);
}

void measureAC() {
  float sumVoltageAC = 0;
  float maxVoltageAC = 0;
  float minVoltageAC = 5.0;

  for (int i = 0; i < numSamples; i++) {
    int sensorValueAC = analogRead(analogPinAC);
    float voltageAC = sensorValueAC * (5.0 / 1023.0);

    sumVoltageAC += voltageAC;

    if (voltageAC > maxVoltageAC) {
      maxVoltageAC = voltageAC;
    }
    if (voltageAC < minVoltageAC) {
      minVoltageAC = voltageAC;
    }
  }
}
```

ITRE IV : Réalisation du projet

II.3 L'application de bureau :

II.3.1 Le Framework ‘Tauri’ pour l'écriture des codes :

Tauri est un Framework open-source que nous utilisons pour développer des applications de bureau multiplateformes sur Linux, macOS, et Windows, en utilisant une interface web. Voici quelques points clés à propos de Tauri :[59]

- Léger et rapide : Nous pouvons créer des binaires très petits et performants grâce à Tauri, qui utilise le moteur de rendu web natif de l'OS, ce qui permet de réduire significativement la taille des applications.
- Sécurité : Tauri met l'accent sur la sécurité en intégrant des fonctionnalités telles qu'un système de fichiers sécurisé et des mises à jour automatiques des applications.
- Polyvalence : Nous avons la liberté d'utiliser presque n'importe quel framework frontend (comme React, Vue, ou Svelte) qui se compile en HTML, JS, et CSS pour concevoir l'interface utilisateur.
- Backend en Rust : Le cœur de Tauri est développé en Rust, offrant ainsi des performances optimisées et une sécurité renforcée.
- Compatibilité multiplateforme : Tauri nous permet de créer des applications pour toutes les principales plateformes de bureau, et une prise en charge des plateformes mobiles est actuellement en développement.



Figure VI.18 : Le logo de TAURI.[60]

II.3.2 Les langages de programmation de l'application :

II.3.2.1 RUST :

Rust est un langage de programmation système moderne, conçu pour offrir des performances élevées, une sécurité mémoire robuste, et une concurrence sûre. Créé par Graydon Hoare et

sponsorisé par Mozilla Research, Rust a rapidement gagné en popularité depuis sa première sortie stable en 2015 en raison de ses caractéristiques uniques qui en font un choix privilégié pour de nombreux développeurs, en particulier ceux qui travaillent sur des logiciels systèmes, des applications embarquées, et des projets nécessitant une grande fiabilité et efficacité.[61]

Caractéristiques Clés de Rust

- Sécurité Mémoire : L'une des caractéristiques les plus distinctives de Rust est son système de gestion de la mémoire sans garbage collector. Rust utilise un modèle de possession (ownership model) avec vérifications au moment de la compilation pour éliminer la majorité des bogues liés à la mémoire, tels que les débordements de tampon, les use-after-free, et les accès à des pointeurs nuls.
- Concurrence Sécurisée : Rust facilite l'écriture de code concurrent sans risque de conditions de course. Son système de possession et de vérifications au moment de la compilation garantit que les données partagées entre les fils sont toujours correctement protégées par des mécanismes de synchronisation appropriés.
- Performances : Rust offre des performances comparables à celles des langages comme C et C++, ce qui le rend idéal pour les applications où la vitesse est critique, comme les jeux vidéo, les moteurs de rendu, et les systèmes embarqués.



Figure VI.19 : Le logo du langage Rust.[62]

II.3.2.2 JS :

JavaScript est un langage de programmation interprété, principalement utilisé pour le développement web ainsi que pour diverses applications. JavaScript permet d'ajouter des

fonctionnalités interactives, telles que des animations, des formulaires interactifs, et des communications en temps réel. Depuis sa création par Brendan Eich en 1995 pour Netscape Navigator, JavaScript a évolué pour devenir l'un des langages de programmation les plus populaires au monde, utilisé aussi bien pour le développement frontend que backend.[63]

- **Caractéristiques Clés de JavaScript**

- Langage Interprété et Dynamique : JavaScript est interprété, ce qui signifie qu'il est exécuté directement par le navigateur ou le moteur d'exécution sans nécessiter de compilation préalable. C'est également un langage à typage dynamique, permettant une grande flexibilité dans la manipulation des variables et des objets.
- Orienté Objet Basé sur les Prototypes : Contrairement aux langages orientés objet traditionnels basés sur les classes, JavaScript utilise un modèle basé sur les prototypes. Cela permet de créer des objets directement à partir d'autres objets, ce qui offre une flexibilité unique dans la création et l'héritage des objets.
- Interopérabilité : JavaScript peut facilement interagir avec d'autres langages de programmation et technologies, ce qui facilite son intégration dans des environnements existants.



Figure VI.20 : Le logo de JS.[64]

II.3.2.3 HTML :

HTML est un langage de balisage qui structure le contenu. Un document HTML est composé d'éléments qui encadrent différentes parties du contenu pour les faire apparaître ou se comporter

d'une certaine manière. Les balises entourant le contenu permettent de transformer une image ou un texte pour obtenir un lien vers une autre page, de créer des titres, etc [65], en combinaison avec d'autres technologies comme CSS (Cascading Style Sheets) et JavaScript.

Voici comment HTML est utilisé dans le développement d'applications :

- Interface Utilisateur (UI) : HTML est utilisé pour construire l'interface utilisateur des applications web. Les développeurs utilisent des éléments HTML pour créer divers composants d'interface utilisateur tels que des boutons, des menus, des listes déroulantes, des tableaux, des formulaires, et d'autres éléments interactifs.
- Intégration avec JavaScript et CSS : HTML fonctionne en tandem avec JavaScript et CSS pour créer des applications interactives et attrayantes. HTML définit la structure de base de l'application, tandis que CSS est utilisé pour styliser cette structure et JavaScript pour ajouter de l'interactivité et des fonctionnalités avancées. Par exemple, une page HTML peut inclure des scripts JavaScript pour valider des formulaires, animer des éléments, gérer des événements utilisateur (comme des clics et des survols), et interagir avec des APIs backend pour récupérer ou envoyer des données.
- Compatibilité Multiplateforme : HTML est compatible avec tous les navigateurs web modernes, ce qui signifie que les applications construites avec HTML sont accessibles sur n'importe quel appareil avec un navigateur, qu'il s'agisse d'un ordinateur de bureau, d'un smartphone, d'une tablette, ou même de certains appareils IoT (Internet of Things).



Figure VI.21 : Le logo de HTML.[64]

II.3.3 Le code de programme de l'application :

```
#![cfg_attr(not(debug_assertions), windows_subsystem = "windows")]

use tauri::Manager;
use serialport::SerialPort;
use serialport::available_ports;
use std::time::Duration;
use std::error::Error;
use std::io::Read;

// UART reading function
fn read_uart_data() -> Result<String, Box<dyn Error>> {
    let port_name = "/dev/ttyUSB0"; // Change this to your UART port on your target system (e.g., "COM3" on Windows)
    let baud_rate = 9600;

    // Open the serial port with settings
    let mut port = serialport::new(port_name, baud_rate)
        .timeout(Duration::from_secs(10))
        .open()?;

    let mut buffer: Vec<u8> = vec![0; 1000];
    let bytes_read = port.read(&mut buffer)?;

    // Trim the buffer to the number of bytes read
    let data = String::from_utf8_lossy(&buffer[..bytes_read]).to_string();
    Ok(data)
}

// Tauri command to get UART data
#[tauri::command]
fn get_uart_data() -> Result<String, String> {
    match read_uart_data() {
        Ok(data) => Ok(data),
        Err(err) => Err(err.to_string()),
    }
}

// Existing greet function
#[tauri::command]
fn greet(name: &str) -> String {
    format!("Hello, {}! You've been greeted from Rust!", name)
}

fn main() {
    tauri::Builder::default()
        .invoke_handler(tauri::generate_handler![greet, get_uart_data])
        .run(tauri::generate_context!())
        .expect("error while running tauri application");
}
```

II.4 Assemblage final de matériels programmés :



Figure VI.22 : L'assemblage final de matériels programmés

II.5 Le teste de multimètre :

II.5.1 Évaluation de la précision des mesures :

Pour garantir cette démarche, nous intégrons notre circuit imprimé et l'Arduino Nano avec un afficheur LCD. Ce processus nous permet de confirmer que le circuit imprimé que nous avons conçu est précis dans les mesures des grandeurs électroniques. Nous utilisons le multimètre Crown comme référence pour comparer les résultats avec ceux de notre multimètre actuel.

Les figures suivantes illustrent la méthode de connexion du circuit imprimé avec l'Arduino Nano et l'écran LCD à l'intérieur du boîtier, ainsi que l'état de l'écran LCD lorsque notre multimètre est allumé.

Remarque : nous avons choisi ce processus de boîtier afin de garantir que notre PCB fonctionne correctement et qu'il est prêt pour la communication UART, avant de le connecter au Raspberry Pi pour afficher les mesures sur l'écran tactile.

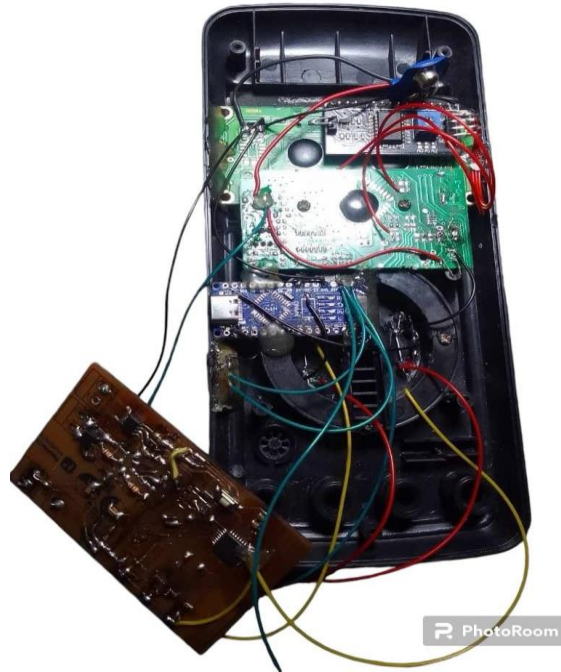


Figure VI.23 : La connexion du circuit imprimé et de l'Arduino Nano

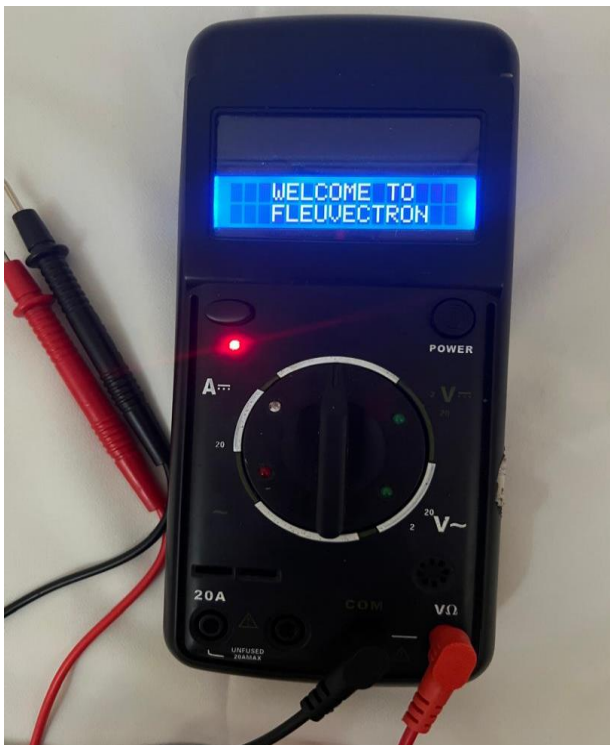


Figure VI.24 : L'état 1 de notre multimètre dans son boîtier lorsqu'il est allumé

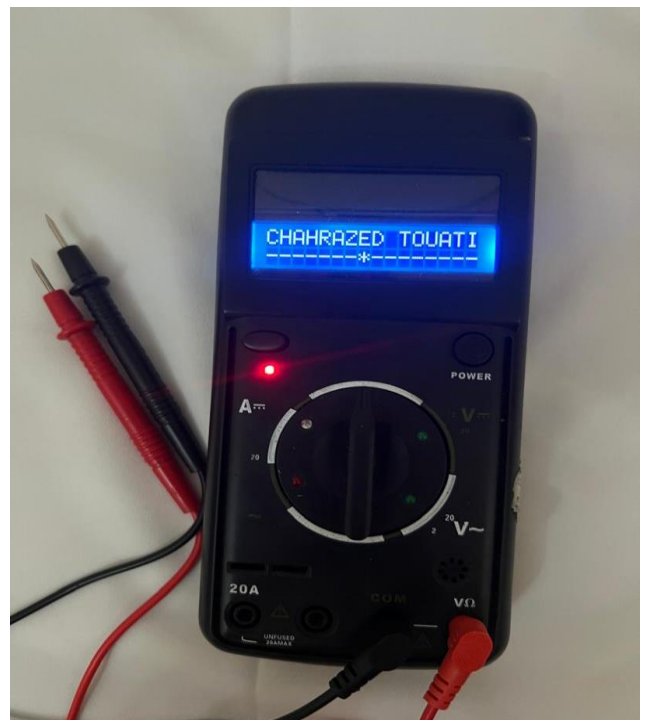


Figure VI.25 : L'état 2 de notre multimètre dans son boîtier lorsqu'il est allumé

Ensuite, nous examinerons les deux figures qui illustrent la comparaison d'une mesure de batterie de 1,5V entre le multimètre Crown et notre propre modèle.



Figure VI.26 : La mesure de la batterie avec le multimètre Crown

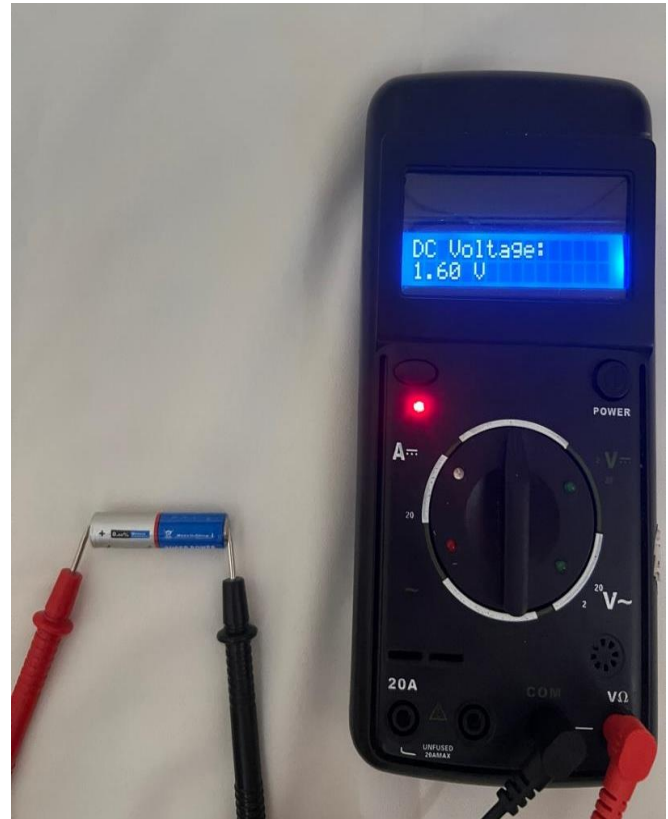


Figure VI.27 : La mesure de la batterie avec notre multimètre

II.5.2 Test de fonctionnalité de la communication UART :

Pour ce processus, nous suivons simplement les étapes suivantes :

1. Nous ouvrons le logiciel Arduino IDE sur l'ordinateur.
2. Ensuite, nous connectons notre multimètre à l'ordinateur via un connecteur de type C.
3. Nous ouvrons le moniteur série pour vérifier si le PCB envoie les données via la communication UART.

Les figures ci-dessous présentent notre multimètre pendant l'essai de la communication UART.

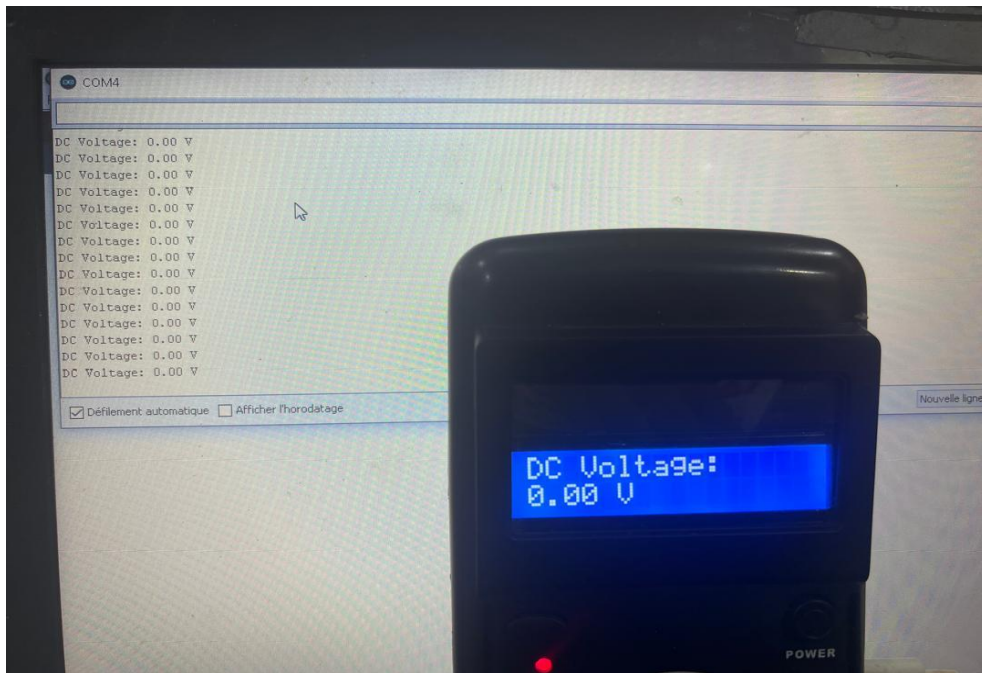


Figure VI.26 : Le multimètre avant la communication

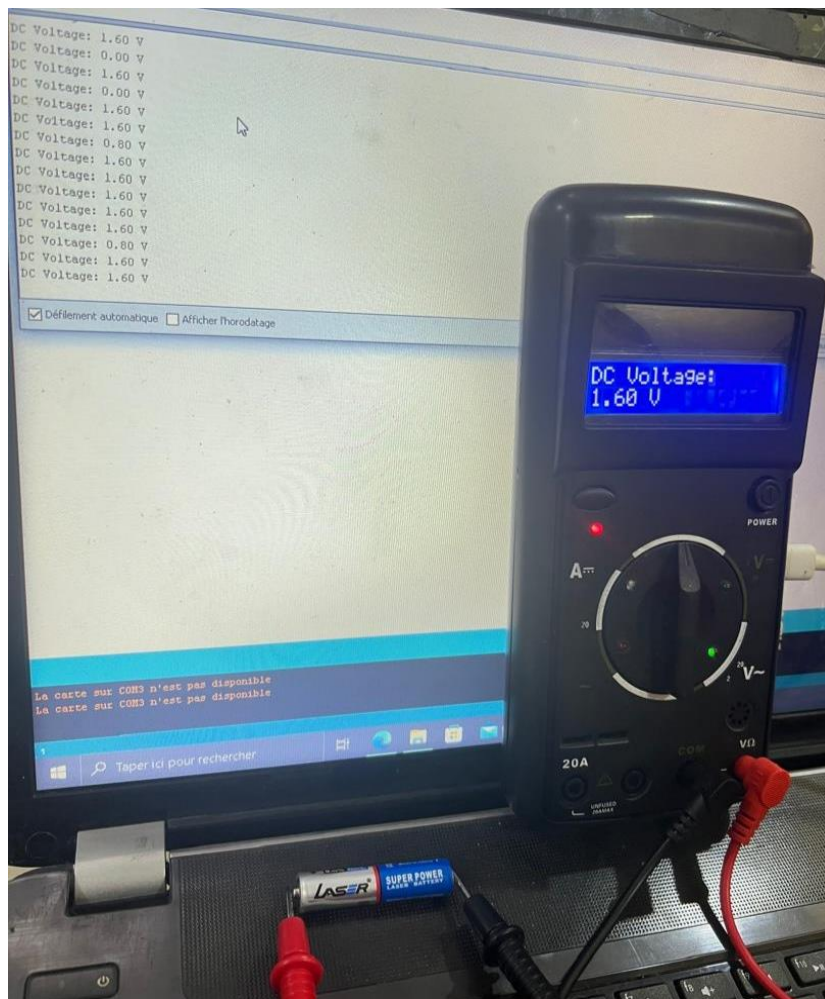


Figure VI.26 : Le multimètre après la communication

Après avoir effectué ces essais avec le multimètre contenant notre PCB, et confirmé qu'il est capable d'envoyer et de recevoir des données via la communication UART, nous pouvons affirmer que le circuit est entièrement prêt à être connecté au Raspberry Pi, afin d'afficher les valeurs mesurées sur le moniteur tactile.

III. Conclusion :

Pour conclure ce chapitre, nous avons exploré le développement et la réalisation d'un multimètre intelligent intégrant un écran tactile, basé sur le Raspberry Pi 4 Model B. Ce projet met en évidence l'intégration de plusieurs technologies modernes pour créer un appareil de mesure électronique innovant. L'utilisation du Raspberry Pi 4 Model B, avec sa capacité de traitement améliorée et sa connectivité avancée, a permis de développer une interface utilisateur intuitive et interactive grâce à l'écran tactile. Le choix du framework Tauri et des langages de programmation Rust, HTML et JavaScript a offert une flexibilité et une efficacité optimales pour le développement de l'application, garantissant une performance élevée et une sécurité renforcée, ainsi que l'utilisation du langage C, qui garantit le bon fonctionnement de notre PCB.

Ce multimètre intelligent représente une avancée significative dans le domaine des instruments de mesure, combinant polyvalence, simplicité d'utilisation et précision, tout en ouvrant la voie à de futures améliorations et innovations dans le domaine de l'électronique embarquée.

Conclusion générale

En conclusion, dans le cadre de cette étude, nous avons développé un multimètre intelligent sous le nom commercial "Fleuvectron". Ce projet s'est concentré sur la conception d'un multimètre innovant, capable de mesurer les grandeurs électroniques de manière tactile grâce à un écran de 7 pouces. L'application que nous avons développée permet à l'utilisateur d'interagir facilement avec les icônes, facilitant ainsi des calculs requis pour divers composants tels que le code couleurs des résistances et la tolérance des condensateurs. De plus, elle offre des fonctionnalités supplémentaires, comme l'identification des symboles de plusieurs composants électroniques et appareils électriques, avec des descriptions détaillées pour simplifier la lecture des schémas électroniques.

En perspective, nous pouvons dire que ce travail n'est qu'une simple application dans le domaine de l'électronique embarquée, notre multimètre est conçu pour être plus intuitif, plus pratique et offrir une grande précision dans les mesures. Parmi les perspectives d'amélioration de ce projet :

- Ajouter d'autres icônes relatives à l'amplificateur opérationnel et aux calculs nécessaires, tels que l'amplification, l'addition, la soustraction et la dérivation
- Nous envisageons de développer une documentation exhaustive destinée à orienter les utilisateurs dans l'utilisation de notre multimètre intelligent, réduisant ainsi le temps nécessaire à la maintenance.
- De plus, l'intégration d'un système de sécurité pourrait sensibiliser les utilisateurs aux risques liés aux valeurs d'intensité dangereuses et les former au maniement sécurisé des machines électriques, afin de prévenir les accidents potentiellement mortels.
- Offrir la possibilité de sélectionner la langue maternelle en cas de mauvaise compréhension de l'anglais

Le seul point négatif est sans doute le manque de temps pour approfondir davantage ce travail, car il reste encore plusieurs aspects à améliorer. Ce projet a été une expérience stimulante et motivante pour la poursuite de nos études. Nous pensons avoir ainsi pu entrevoir une partie de notre avenir professionnel.

Bibliographie

- [1] A. KHEDHER, « Méthodes Du Diagnostic-Cours », Institut supérieur des sciences appliquées et technologies de GAFSA, 2018.
- [2] O. ADROT, « Diagnostic A Base De Modèles Incertains Utilisant L'analyse Par Intervalles L'approche Bornante » thèse de doctorat de l'institut national polytechnique de Lorraine, 2000
- [3] H. MOUFIDA, « Modélisation Des Défaillances Et Leur Diagnostic Par La Méthode De Reconnaissance Des Formes Floue » Thèse De Magister », université Badji Mokhtar-Annaba, 2013.
- [4] M.BOUZENITA, « Conception Et Implémentation D'un Système Expert Hybride Pour Le Diagnostic D'un Système Industriel », Thèse de Magister, université El-Hadj Lakhdar – Batna, 2012.
- [5] Actes du Colloque International sur la fiabilité et la maintenabilité. CNET-CNES, Lannion, sept. 1980.
- [6] [Quelle est la différence entre la réparation et le dépannage ? - depannageici.com](#)
25/04/2024 10 :58
- [7] [Sécurité des Multimètres : Normes CE et IEC 1010 Décryptées \(brechemier-electricite.fr\)](#)
14/05/2024 11 :09
- [8] [Qu'est-ce que l'indice IP66 ? - 2IPS Online](#)
14/05/2024 11 :23
- [9] [TH.M.GM.FR.2021.58.pdf \(univ-tiaret.dz\)](#)
23/04/2024 20 :08
- [10] Jean-Paul SOURIS. (2010). Le guide du parfait responsable maintenance. Lexitis.
- [11] [Supervision Monitoring \(univ-mlv.fr\)](#)
25/04/2024 07:10
- [12] [Évitez les erreurs de diagnostic en cas de panne électronique \(jesuisreparateur.fr\)](#)
06/05/2024 21 :37
- [13] [Multimetre | PDF | Électrotechnique | Électromagnétisme \(scribd.com\)](#)
07/05/2024 11 :45
- [14] [Multimètres | Comment ça marche, application et avantages \(electricity-magnetism.org\)](#)
09/05/2024 15 :55
- [15] [Multimètre digital 3 1/2 digit avec thermocouple NiCr-Ni | PHYWE](#)
09/05/2024 17 :14
- [16] [Multimètre PCE-HVAC 6 | PCE Instruments \(pce-instruments.com\)](#)
10/05/2024 10 :56
- [17] [Multimètre numérique de table : Série BK5490C | BK PRECISION \(es-france.com\)](#)
09/05/2024 17 :05
- [18] [L'histoire du multimètre : Du galvanomètre au voltmètre numérique | Fluke](#)
31/07/2024 13 :28

- [19] [Galvanometre Nedir, Ne Ölçer ve Nasıl Kullanılır? - Evrim Ağacı \(evrimagaci.org\)](#)
12/06/2024 23:10
- [20] [Vintage Fluke 8020A Digital Multimeter | eBay](#)
09/05/2024 22:48
- [21] [Fluke 12 | Multimètres \(multimetres.fr\)](#)
10/06/2024 12:28
- [22] [Testeur multimètre Ht126b Multimètre numérique intelligent vrai Rms Plage automatique Ncv Test de la diode de continuité de la continuité de la résistance de la résistance de voltmètre ANTI Burn 6000 : Amazon.fr: Bricolage](#)
10/06/2024 12:43
- [23] [Sécurité des Multimètres : Normes CE et IEC 1010 Décryptées \(brechemier-electricite.fr\)](#)
14/05/2024 10:46
- [24] [Multimeter Digital - Hendluino Library](#)
11/05/2024 13:08
- [25] [7inch Capacitive Touch Screen LCD \(H\), 1024×600, HDMI, IPS, Various Devices & Systems Support \(waveshare.com\)](#)
21/06/2024 13:37
- [26] [USB-A to Micro-USB Cable - Online Store \(besthvet.best\)](#)
21/06/2024 13:41
- [27] [Cable HDMI 10.0m AK-HD-100A \(akyga.com\)](#)
21/06/2024 13:50
- [28] [Câble HDMI vers HDMI \(3m\) avec adaptateur mini/micro HDMI de chez Sunsky \(studiosport.fr\)](#)
21/06/2024 13:54
- [29] [Official Raspberry Pi 4 Model B 4GB และชุดอุปกรณ์ \(cytron.io\)](#)
21/06/2024 16:33
- [30] [TF - القرص قراءة بطاقة صغيرة U قارئ بطاقة الذاكرة الملحقات وحدة تشغيل الصوت الملحقات AliExpress](#)
21/06/2024 16:51
- [31] [SANDISK Carte mémoire Ultra Android microSDXC - Pour tablette 32 Go + Adaptateur SD - Accessoires informatique \(leboncoin.fr\)](#)
21/06/2024 16:43
- [32] [Alimentation 5V 3A pour Raspberry Pi 4 Type-C Avec ON/OFF - A2itronic](#)
21/02/2024 16:00
- [33] [Ordinateur portable HP 240 14 pouces G10 | HP® Afrique](#)
21/06/2024 17:03

- [34] [Rallonge 4*2P+T 1,5m Blanc Ingelec \(iatm.ma\)](#)
21/06/2024 17 :04
- [35] [Arduino Nano + Cable USB – Dinastia Tecnologica](#)
21/06/2024 17 :06
- [36] [Qu'est-ce que l'UI Design ? Définition et exemples d'UI Design \(usabilis.com\)](#)
29/05/2024 12 :44
- [37] [Apprendre l'UI/UX design : définition et ressources \(netologiste.com\)](#)
29/05/2024 13 :10
- [38] [Qui est Figma ? – Figma Learn - Centre d'aide](#)
29/05/2024 13 :27
- [39] [Software We Pay For – CodePen](#)
01/06/2024 22 :01
- [40] [Résistance: calculer la valeur en Ohms avec le code couleur \(3-4-5-6\) \(ma-calculatrice.fr\)](#)
01/06/2024 22 :04
- [41] [Skell](#)
01/06/2024 22 :14
- [42] [Résistances en céramique | Arduino \(ledisrupteurdimensionnel.com\)](#)
28/06/2024 10 :37
- [43] [Résistance et impédance/Annexe/Code de couleur des résistances — Wikiversité \(wikiversity.org\)](#)
02/06/2024 00 :32
- [44] [Condensateur - ES France \(es-france.com\)](#)
02/06/2024 13 :39
- [45] [condensateur : Technologies de la construction \(eeinap.com\)](#)
28/06/2024 11 :39
- [46] [TRU COMPONENTS TC-K4,7NF2 Condensateur céramique THT 4.7 nF 100 V 10 % | getgoods](#)
02/06/2024 14 :07
- [47] [Qu'est-ce qu'un Raspberry Pi exactement ? \(Toutes les réponses\) – RaspberryTips](#)
23/06/2024 2:24
- [48] [Raspberry Pi 4 Modèle B 4Go \(robot-advance.com\)](#)
23/06/2024 2:30
- [49] [7inch Capacitive Touch Screen LCD \(H\), 1024×600, HDMI, IPS, Various Devices & Systems Support \(waveshare.com\)](#)
25/06/2023 15:06

[50] [Raspberry Pi OS – Raspberry Pi](#)

20/08/2024 00 :33

[51] [L'Arduino Nano – Le guide complet - Idehack](#)

20/08/2024 00 :35

[52] [Amazon.com: Nano V3.0, Nano Board ATmega328P 5V 16M Micro-Controller Board Compatible with Arduino IDE \(Nano x 3 with USB Cable\) : Electronics](#)

19/08/2024 23:30

[53] [Arduino Nano Pinout, Specifications, Features, Datasheet & Programming \(components101.com\)](#)

19/08/2024 23:34

[54] [UART Communication Protocol and How It Works - Latest Open Tech From Seeed \(seeedstudio.com\)](#)

21/08/2024 00:32

[55] [Basics of UART Communication \(circuitbasics.com\)](#)

20/08/2024 13:50

[56] [KiCad EDA - Schematic Capture & PCB Design Software](#)

23/08/2024 00:31

[57] [Fichier:Kicad logo new.png — Wikipédia \(wikipedia.org\)](#)

23/08/2024 00:34

[58] [Introduction to C \(w3schools.com\)](#)

27/08/2024 01 :59

[59] [Guides | Tauri Apps](#)

27/08/2024 02 :04

[60] [Tauri – wowlab](#)

27/08/2024 02 :10

[61] [Rust Programming Language \(rust-lang.org\)](#)

27/08/2024 02 :23

[62] [Rust Logo PNG Vector \(AI, PDF, SVG\) Free Download \(seeklogo.com\)](#)

27/08/2024 02 :34

[63] [Qu'est-ce que le JavaScript ? - Apprendre le développement web | MDN \(mozilla.org\)](#)

27/08/2024 3 :37

[64] [What is the official JavaScript logo? - Community - SitePoint Forums | Web Development & Design Community](#)

27/08/2024 3 :37

[65] [Notions de base en HTML - Apprendre le développement web | MDN \(mozilla.org\)](#)

27/08/2024 03 :38