

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة غليزان

Université de Relizane



جامعة غليزان
RELIZANE UNIVERSITY

Projet de Fin d'Etude en vue de l'obtention du diplôme

Master 2

Domaine : **Sciences & Technologies**

Filière : **Electrotechnique**

Spécialité : **Electrotechnique Industrielle**

Thème :

**CONCEPTION ET REALISATION D'UNE CARTE A BASE DE
MICROCONTROLEUR PIC16F877 POUR PILOTER UN POSTE
D'USINAGE.**

Présenté par :

Benhadjoudja Ahmed

Benazouz Rachid

Soutenu le : **18 Juin, 2025**

Devant le jury compose de :

M. YSSAAD Benyssaad	Professeur	Président
M. HAMRI Djillali	MCB	Encadreur
M. BENAIED Noredine	Professeur	Examineur

Promotion : 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





Remerciements

Je rends grâce à Dieu, en premier et en dernier, pour m'avoir permis d'achever ce projet.

J'adresse mes sincères remerciements à mon encadrant Hamri Djillali, pour ses conseils, son accompagnement et son soutien tout au long des différentes étapes du travail.

Je n'oublie pas mes chers collègues, dont la collaboration et la persévérance ont grandement contribué à surmonter les difficultés techniques et à atteindre les objectifs du projet.

Toute ma gratitude et mon estime vont à ma famille, source de force, de patience et de motivation

Dédicaces

À ceux qui ont été, après Dieu, les piliers de chaque étape de mon parcours académique...

À mes chers parents, source inépuisable de soutien, d'inspiration et de stabilité...

À mes collègues, compagnons d'effort et d'expérimentation, avec qui j'ai partagé les heures de codage, les phases de conception et les défis techniques,

merci pour votre esprit d'équipe et pour avoir fait de ce projet une expérience enrichissante.

À mes enseignants, qui ont su nous transmettre leur savoir avec passion, et qui ont contribué à forger notre esprit technique et méthodologique, je vous adresse toute ma reconnaissance et mon respect.

À tous ceux qui ont cru en moi,

À ceux qui m'ont encouragé par un mot, une prière ou une simple attention,

Je dédie ce travail technique modeste, fruit d'un effort collectif, en espérant qu'il contribue, ne serait-ce qu'un peu, à l'avancement du savoir et de l'innovation.

الملخص (العربية)

يهدف هذا المشروع إلى تصميم وتنفيذ لوحة إلكترونية تعتمد على المتحكم الدقيق PIC16F877A للتحكم في محطة حفر صناعية. تم اختيار هذا المتحكم نظراً لخصائصه التقنية، مثل ذاكرة فلاش بسعة 8 كيلوبايت، و368 بايت من RAM، و33 دبوس إدخال/إخراج قابل للتهيئة، بالإضافة إلى محول تناظري-رقمي بدقة 10 بت. تسمح هذه الميزات بالتحكم الدقيق في عمليات الحفر من خلال إدارة الإشارات التناظرية، توقيت المهام، والتعامل مع المدخلات والمخرجات. تتضمن اللوحة الدوائر اللازمة للتغذية والتحكم، وبرمجتها تمت بلغة مناسبة باستخدام تعليمات المتحكم. يثبت هذا العمل فعالية استخدام المتحكمات الدقيقة في الأنظمة الصناعية، ويوفر حلاً مرناً وفعالاً من حيث التكلفة.

الكلمات المفتاحية: متحكم دقيق، PIC16F877A، محطة حفر، لوحة إلكترونية، تحكم آلي.

Résumé

Ce mémoire vise à concevoir et réaliser une carte électronique basée sur le PIC16F877A pour piloter une station de perçage industrielle. Ce microcontrôleur a été choisi pour sa mémoire flash de 8 Ko, sa RAM de 368 octets, ses 33 broches d'E/S configurables, et son convertisseur analogique-numérique 10 bits. Ces caractéristiques permettent de gérer avec précision les signaux analogiques, les temporisations, et les entrées/sorties. La carte comprend les circuits d'alimentation, de commande moteur, et d'interface capteurs. Le programme embarqué a été développé en langage adapté en exploitant les instructions du PIC. Ce travail démontre la pertinence des microcontrôleurs dans l'automatisation industrielle et offre une solution flexible et économique.

Mots-clés : Microcontrôleur, PIC16F877A, perçage, carte électronique, automatisation.

Abstract

This theses aims to design and implement an electronic board based on the PIC16F877A microcontroller to control an industrial drilling station. The PIC16F877A was selected for its features: 8 KB of flash memory, 368 bytes of RAM, 33 configurable I/O pins, and a 10-bit ADC. These capabilities allow precise control of analog signals, task timing, and I/O management. The developed board includes power, motor control, and sensor interface circuits. The embedded program is written in a suitable language using PIC instructions.

This work shows the efficiency of microcontrollers in industrial automation and provides a cost-effective and flexible control solution.

Keywords: Microcontroller, PIC16F877A, drilling station, electronic board, automation.

Sommaire

• Remerciements	3
• Dédicaces	4
• Sommaire	6
• INTRODUCTION :	1
• Chapitre 1: Les systèmes industriels automatisés	2
• 01.Introduction	2
• 2. L'automatisation industrielle dans l'histoire	2
• 2.1 Les avantages L'automatisation industrielle	3
• Productivité et efficacité	3
• Flexibilité et personnalisation	3
• Sécurité et conditions de travail	3
• Impact environnemental réduit	3
• Avantage concurrentiel	3
• 3. Composants d'un système automatisé	3
• 3.1 Types de capteurs :	4
• Capteurs de température, pression et force	4
• Capteurs de proximité et optiques.....	4
• Capteurs intelligents.....	4
• 3.2 Types d'actionneurs :	4
• Pneumatiques et hydrauliques.....	4
• Électromécaniques	4
• 3.3 Interaction capteurs-actionneurs	4
• 4. Les Automates Programmables Industriels (API ou PLC)	5
1. Traitement interne.....	5
2. Lecture des entrées.....	5
3. Exécution du programme.....	5
4. Écriture des sorties.....	5
• CPU (Processeur).....	5
• Mémoire.....	5
• Interfaces E/S (Entrées/Sorties)	5
• Alimentation : fournit l'énergie à l'ensemble. (.....	5
• Modules de communication : permettent l'échange avec d'autres équipements ou réseaux (Modbus, Architecture d'un API	6

• Ethernet/IP, Profinet.....	6
• 4.1 Langages de Programmation	6
• LD (Ladder Diagram)	6
• ST (Structured Text)	6
• FBD (Function Block Diagram).....	6
• SFC (GRAFCET).....	6
• IL (Instruction List).....	6
Avantages des API.....	6
• Robustesse.....	6
• Flexibilité	7
• Fiabilité	7
• Interopérabilité.....	7
• Évolutivité.....	7
• 4.2 Types d'Informations Traitées	7
• T.O.R. (Tout Ou Rien)	7
• Analogiques	7
• Numériques	7
• 4.3 Applications Industrielles.....	7
• Automobile.....	7
• Agroalimentaire	7
• Pharmaceutique	7
• Énergie	7
• Bâtiment	7
• Métallurgie, papeterie, verre	7
• 5. Automate Programmable PLC	7
• 5.1 Composants matériels.....	7
• CPU (Unité Centrale de Traitement).....	8
• Mémoire	8
• Modules E/S (Entrées/Sorties)	8
• Alimentation.....	8
• Dispositifs de programmation	8
• Bus système.....	8
• Cycle de balayage (Scan cycle).....	8
• 5.2 Norme EN/IEC 61131	9
• 5.3 Langages de programmation	9

1. Ladder Diagram (LD)	9
2. Function Block Diagram (FBD)	9
3. Structured Text (ST)	10
• 6 . Les types d'automatisation.....	10
• 6 .1 Automatisation fixe :.....	10
• 6 .2 Automatisation programmable:	11
• 6 .3 Automatisation flexible :	11
• 6 .4 Automatisation intégrée	11
• 6 .5 L'interface Homme-Machine (IHM).....	11
• 7 . Rôle dans l'automatisation industrielle.....	12
• La surveillance en temps réel	12
• Le contrôle des processus.....	12
• La maintenance prédictive	12
• 7 .1 Évolution vers l'Industrie 4.0.....	12
• La réalité augmentée (RA).....	12
• L'intelligence artificielle (IA).....	12
• La connectivité IoT	12
• 7 .2 Enjeux de cybersécurité	12
• L'authentification des utilisateurs.....	12
• Le chiffrement des données	13
• La surveillance continue	13
• 8. Conclusions.....	13
• Chapitre 02: Microcontrôleurs PIC 16F877.....	15
• 1. Introduction.....	15
• 1.1.Définition d'un microprocesseur	15
• 2.Modèle de base d'un microprocesseur	16
• 2.2.Unité de contrôle ou séquenceur.....	17
• 2.3. Les bus	18
• 2.4. Les registres.....	18
• 2.5. Les mémoires.....	19
• 3. Du microprocesseur au microcontrôleur	20
• 3.1. Familles de microcontrôleurs.....	21
• 4. Présentation d'un Microcontrôleur PIC	22
• 4.1. Caractéristiques Générales des Microcontrôleurs PIC	22
• 4.2. Programmation des Microcontrôleurs PIC	23

• 4.3. Applications des Microcontrôleurs PIC.....	24
• 5. Microcontrôleur PIC16F877.....	24
• 5.1. Structure interne.....	25
• 5.2. Mémoire.....	25
• 5.3. Structure externe du PIC.....	26
• 5.4. Alimentation du PIC.....	27
• 5.5. Cadencement du PIC (Oscillateur).....	27
• 5.6. Circuit Reset (MCLR).....	27
• 5.7. Ports d'entrées/sortie.....	28
• 6. Chien de garde.....	29
• 7. Conclusion.....	30
• Chapitres 3 :Réalisation d'une carte à base de PIC 16F877A pour automatiser un poste de perçage.....	32
• 1. Introduction.....	32
• Intérêt de l'automatisation avec un microcontrôleur.....	32
• 2. Description de poste de perçage.....	33
• 2.1 Cahier d charge :.....	33
• 2.2. Grafset du système automatisé.....	36
• 2.3Choix technologie des différents éléments des systèmes :.....	36
• 2.3.2 Préactionneurs :.....	37
• 2.3.3 Actionneurs :.....	37
• 3. Conception et réalisation de la carte.....	38
• 3.1 Schémas bloque de la carte.	38
• 3.2. Les Capteurs.....	38
• Capteur de fin de cycle.....	38
• Principe de fonctionnement.....	38
• Types de capteurs de fin de cycle.....	39
• Applications.....	39
• 3.3. Interface up/ Préactionneurs.....	40
• 3.4. Préactionneurs.....	43
• 3.5 Programmation du microprocesseur PIC16F877A avec MPLAB :.....	44
• Des étapes pour programmer avec MPLAB IDE :.....	44
Ouvrir MPLAB IDE.....	44
Créer un nouveau projet.....	44
Écrire le code.....	44
Ajouter le fichier au projet.....	44

Assembler ou Compiler	44
Simuler (optionnel)	45
• 3. 6 Le kit K150 programmeur de pic :	45
• 3.7 Prototype de Carte électronique.....	47
• 4. Conclusion :.....	48
• Conclusion :.....	50

Liste des Figures

N° Figure	Titre de la figure	Page
Figure 1.1	Structure d'un système automatisé	4
Figure 1.2	Schéma synoptique d'un automate API	7
Figure 1.3	Architecture d'un API	8
Figure 1.4	Les composants d'un PLC	9
Figure 1.5	PLC scan style	10
Figure 1.6	Exemple de programme Ladder	11
Figure 1.7	Programme FBD	11
Figure 1.8	Partie d'un programme textuel [4]	11
Figure 2.1	Microcontrôleur PIC 16F877A	16
Figure 2.2	Structure de base d'un microprocesseur	16
Figure 2.3	Structure interne d'un microprocesseur	18
Figure 2.4	Structure générale d'un système piloté par un microprocesseur	19
Figure 2.5	Format d'une instruction	19
Figure 2.6	Composants internes d'un microcontrôleur	20
Figure 2.7	Architecture interne du PIC 16F877	24
Figure 2.8	Brochage du PIC 16F877	25
Figure 2.9	Circuit RESET et oscillateur d'un PIC 16F877	26
Figure 2.10	Différents ports du microcontrôleur PIC 16F877A	27
Figure 3.1	Schéma synoptique du système de perçage	32
Figure 3.2	GRAFCET – point de vue partie commande du poste de perçage	34
Figure 3.3	Schéma-bloc de la carte à base du μ C 16F877A	35
Figure 3.4	Capteur de fin de cycle	37
Figure 3.5	(a) Schéma électrique du relais statique ; (b) relais ; (c) transistor MOSFET ; (d) diode	38
Figure 3.6	Relais de type JQC-3FF	38
Figure 3.7	Vérin et distributeur 4/2	40
Figure 3.8	Programmation sur MPLAB	42
Figure 3.9	Programmateurs PIC	43
Figure 3.10	Programme du PIC sur PL2023	44
Figure 3.11	prototype de Carte électronique à base de microcontrôleur	47

Liste des Tableaux

N° Tableau	Titre du tableau	Page
Tableau 1	Références des capteurs et leurs fonctions dans le processus de commande	34
Tableau 2	Désignation des contacteurs et distributeurs avec leurs fonctions	35
Tableau 3	Composants moteurs et vérins utilisés dans le système	35
Tableau 4	Caractéristiques techniques du relais JQC-3FF	39
Tableau 5	Caractéristiques techniques du transistor MOSFET canal N	39
Tableau 6	Caractéristiques techniques de la diode de redressement	39

INTRODUCTION

INTRODUCTION :

À l'heure où les avancées technologiques évoluent à un rythme effréné, l'automatisation industrielle s'impose aujourd'hui comme l'un des piliers essentiels du monde industriel moderne. Face à une concurrence mondiale de plus en plus rude, à des exigences croissantes en termes de qualité, de précision, de réduction des coûts et d'amélioration des conditions de travail, il devient difficile de continuer à s'appuyer uniquement sur des procédés de production manuels ou traditionnels. Dans ce contexte, de plus en plus d'entreprises font le choix stratégique de se tourner vers des solutions automatisées, capables d'assurer la continuité de la production, de s'adapter rapidement aux changements, et de garantir un contrôle rigoureux et fiable des processus.

L'automatisation industrielle peut être définie comme l'ensemble des techniques visant à remplacer tout ou partie de l'intervention humaine par des dispositifs programmés. Ces dispositifs reposent sur des composants variés — capteurs, actionneurs, contrôleurs — qui interagissent entre eux sous la supervision d'un système de commande. Parmi les technologies clés permettant de construire ces systèmes automatisés, les microcontrôleurs occupent une place centrale. Grâce à leur faible coût, leur flexibilité, et leur capacité à gérer des tâches complexes dans un format compact, ils sont devenus incontournables dans les domaines de l'électronique embarquée, de la robotique et bien sûr de l'automatisation industrielle.

C'est dans ce cadre que s'inscrit le présent travail, qui a pour objectif de concevoir et de réaliser un système automatisé basé sur un microcontrôleur de type PIC16F877A, en vue de piloter automatiquement une station de perçage. Cette dernière constitue un exemple concret de poste de travail industriel nécessitant une précision répétitive dans un cycle bien défini. En automatisant cette opération — qui consiste à percer des pièces métalliques ou plastiques avec un mouvement combiné de translation et de rotation —, on cherche à améliorer la cadence de production, à fiabiliser l'exécution des tâches, et à limiter les interventions humaines, notamment dans des environnements où les erreurs sont coûteuses ou dangereuses.

Le choix du PIC16F877A n'est pas anodin. Ce microcontrôleur est reconnu pour sa polyvalence : il dispose de nombreux ports d'entrées/sorties, d'un bon volume de mémoire, et peut être programmé facilement à l'aide du langage C via l'environnement MPLAB IDE. Il prend aussi en charge divers modules comme les temporisateurs (Timers), le convertisseur analogique-numérique (ADC), les communications série (UART), ainsi que le module PWM, ce qui en fait un candidat idéal pour un système embarqué dédié à l'automatisation.

À travers cette étude, nous visons plusieurs objectifs complémentaires, à la fois techniques et pédagogiques :

- * Approfondir notre compréhension des composants clés des systèmes automatisés et de leur fonctionnement.
- * Étudier l'architecture interne du microcontrôleur PIC16F877A afin d'en maîtriser l'utilisation dans un cadre applicatif réel.
- * Concevoir et réaliser une carte électronique intégrant capteurs, préactionneurs et actionneurs, commandée par le microcontrôleur.
- * Programmer le système en respectant une logique séquentielle basée sur le GRAFCET, assurant ainsi un enchaînement précis des actions.
- * Tester le dispositif, analyser son comportement, identifier ses points forts et ses limites, et proposer des pistes d'amélioration pour des versions futures.

La démarche adoptée repose sur une complémentarité entre l'approche théorique et l'expérimentation pratique. Elle nous a permis, en tant qu'étudiants, de faire le lien entre les enseignements reçus et leur application dans un projet concret. Ce type de projet est particulièrement formateur : il nous amène à penser de manière globale, à résoudre des problèmes techniques, à travailler en équipe, et à développer une vision système, autant de compétences indispensables dans le monde de l'ingénierie industrielle d'aujourd'hui.

Au final, cette expérience nous a offert bien plus qu'un simple exercice académique : elle a été une véritable immersion dans la réalité du terrain, avec ses défis, ses contraintes, mais aussi ses satisfactions techniques et humaines.

Chapitre 1:
Les systèmes industriels
automatisés

Chapitre 1 : Les systèmes industriels automatisés

01. Introduction

Un système industriel automatisé est un ensemble organisé d'éléments en interaction dynamique, interagissant entre eux et avec l'extérieur, organisé en fonction d'un but. Sa fonction globale est de conférer une valeur ajoutée à un ensemble de matières d'œuvre. Le caractère industriel signifie que l'obtention de cette valeur ajoutée est reproductible et peut être exprimée et quantifiée en terme économique.

Ce type de système est dit automatisé ou automatique car il exécute son cycle de travail de manière autonome, sans l'intervention constante de l'utilisateur dans son déroulement. Il réalise des opérations seul, selon un cycle de travail programmé à l'avance. L'homme intervient principalement dans la programmation et le réglage du système. Un système de production est dit automatisé lorsqu'il peut gérer de manière autonome un cycle de travail préétabli qui se décompose en séquences ou étapes. L'automatisation consiste à transférer tout ou partie des tâches de coordination, auparavant exécutées par des opérateurs humains, à un ensemble d'objets techniques appelé partie commande. (Bernard, J.-M., & Hugon, J. (1984). [1]

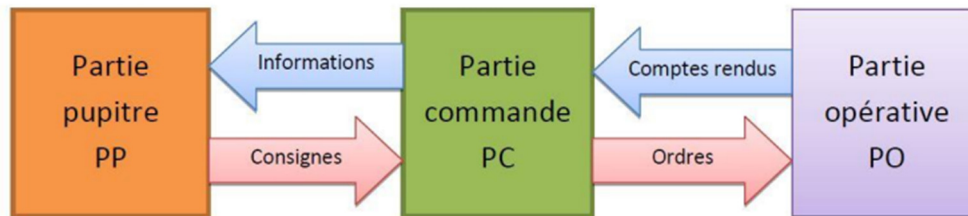


Figure 1.1. Structure d'un system automatisé

2. L'automatisation industrielle dans l'histoire

L'histoire de l'automatisation industrielle a commencé avec la révolution industrielle du XVIIIe siècle, qui a introduit la mécanisation. La chaîne de montage créée par Henry Ford en 1913 a révolutionné la production, suivie par la demande de fabrication précise de la Seconde Guerre mondiale, qui a donné naissance aux machines à commande numérique (CN) dans les années 1940. (Bernard, J.-M., & Hugon, J. (1984).

Les années 1950-1960 ont intégré les ordinateurs, donnant naissance aux systèmes de commande numérique par ordinateur (CNC).

Les années 1970 ont vu l'arrivée des microprocesseurs et des automates programmables industriels (API) pour la fabrication automatisée. [2]

Les années 1980-1990 ont vu l'essor de la robotique et de l'intégration des technologies de l'information pour des tâches telles que le soudage et l'amélioration de l'analyse des données.

Au 21^e siècle, l'industrie 4.0 et la digitalisation ont transformé l'automatisation industrielle avec des systèmes connectés et intelligents utilisant l'IoT, l'IA et l'apprentissage automatique pour optimiser les processus de production et l'efficacité (Bernard, J.-M., & Hugon, J. (1984).

2.1 Les avantages L'automatisation industrielle

- Productivité et efficacité : réduction des erreurs humaines, accélération des processus, optimisation des ressources, et maintenance prédictive pour limiter les temps d'arrêt.
- Flexibilité et personnalisation : adaptation rapide aux besoins changeants grâce à des systèmes intelligents et connectés.
- Sécurité et conditions de travail : automatisation des tâches dangereuses, présence de "cobots" pour assister les opérateurs en toute sécurité.
- Impact environnemental réduit : meilleure gestion de l'énergie et des déchets, réduction des émissions polluantes. (Zakset, R., & Wolfe, A. (1988).)
- Avantage concurrentiel : capacité d'innovation rapide, développement de nouveaux produits et services.

3. Composants d'un système automatisé

Les capteurs et les actionneurs sont des composants essentiels des systèmes industriels automatisés, jouant des rôles complémentaires dans la surveillance, le contrôle et l'exécution des processus industriels. Ces deux éléments sont primordiaux pour la Partie Opérative (PO), la partie visible et mécanisée d'un système automatisé qui agit physiquement sur la matière d'œuvre pour lui apporter une valeur ajoutée.

1. Les capteurs mesurent et détectent des grandeurs physiques ou chimiques de l'environnement industriel, transformant ces informations en signaux électriques. Ces signaux sont ensuite transmis à la Partie Commande (PC), qui les analyse pour prendre des décisions. Les capteurs sont donc essentiels pour que le système automatisé "perçoive" son environnement et l'état de sa Partie Opérative, jouant ainsi un rôle clé dans la surveillance et la collecte de données en temps réel.

3.1 Types de capteurs :

- Capteurs de température, pression et force : Mesurent des variables essentielles pour le contrôle des processus industriels.
- Capteurs de proximité et optiques : Détectent la présence d'objets et contrôlent la qualité.
- Capteurs intelligents : Permettent une surveillance en temps réel et une prise de décision rapide grâce à la communication des données traitées.

Les capteurs peuvent être actifs ou passifs, selon qu'ils nécessitent une alimentation extérieure ou non, et peuvent fournir des informations sous forme de signaux binaires, analogiques ou numériques. Ils sont essentiels pour la maintenance prédictive et la détection précoce des anomalies, ce qui permet de réduire les pannes majeures et d'améliorer la sécurité et l'efficacité des opérations.

2. Les actionneurs, quant à eux, reçoivent les ordres de la Partie Commande (via les pré-actionneurs) et agissent physiquement sur le processus industriel. Ils peuvent déplacer, ouvrir, fermer ou ajuster des éléments mécaniques. Leur rôle est de convertir une forme d'énergie (électrique, pneumatique, hydraulique) en énergie mécanique pour effectuer des actions précises et contrôlées. (Zakset, R., & Wolfe, A. (1988).

3.2 Types d'actionneurs :

- Pneumatiques et hydrauliques : Utilisent respectivement l'air comprimé et l'huile sous pression pour générer des forces importantes à faible ou grande vitesse.
- Électromécaniques : Composés de moteurs électriques, ces actionneurs sont responsables de nombreux mouvements dans l'automatisation industrielle, offrant un contrôle précis et une grande flexibilité.

Les actionneurs permettent un contrôle fin des opérations, contribuant ainsi à la qualité, à la répétabilité des tâches et à l'ergonomie des systèmes automatisés. Leur utilisation est cruciale dans des applications telles que la robotique industrielle, où des actions complexes et précises doivent être exécutées.

3.3 Interaction capteurs-actionneurs

Les capteurs transmettent des informations critiques à la Partie Commande, qui analyse ces données pour déterminer les actions à entreprendre. Ces informations sont ensuite envoyées

aux actionneurs, qui effectuent les ajustements nécessaires sur le processus industriel, créant ainsi une boucle de rétroaction pour un contrôle précis et réactif du système.[3]

4 . Les Automates Programmables Industriels (API ou PLC)

Les Automates Programmables Industriels (API), ou Programmable Logic Controllers (PLC) en anglais, sont des ordinateurs industriels robustes, conçus pour automatiser et contrôler des processus électromécaniques dans des environnements exigeants. Ils sont essentiels dans l'industrie moderne pour assurer une production efficace, fiable et flexible.

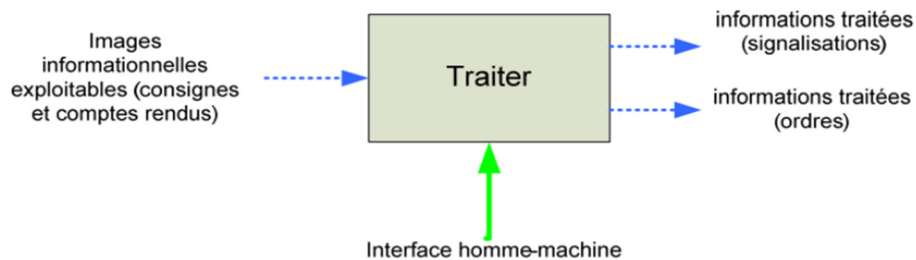


Figure1 . 2. Schéma synoptique d'un automate API

Un API reçoit des informations de capteurs via ses interfaces d'entrée, exécute un programme logique prédéfini stocké en mémoire, puis envoie des commandes aux actionneurs via ses sorties. Ce cycle cyclique se déroule généralement en quatre étapes :

1. Traitement interne : mise à jour de l'état système. (Tavernier, C. (2000).)
2. Lecture des entrées : enregistrement des données dans la mémoire image.
3. Exécution du programme : traitement des informations et décisions logiques.
4. Écriture des sorties : activation physique des sorties (Zakset, R., & Wolfe, A. (1988).

Un API est composé de plusieurs modules clés :

- CPU (Processeur) : exécute le programme de contrôle, gère les données et surveille le système.
- Mémoire : contient le système d'exploitation, le programme utilisateur et les données d'exécution (RAM, ROM, EEPROM).
- Interfaces E/S (Entrées/Sorties) : connectent les capteurs et actionneurs, avec signaux numériques (TOR) ou analogiques.
- Alimentation : fournit l'énergie à l'ensemble. (Tavernier, C. (2000).)

- Modules de communication : permettent l'échange avec d'autres équipements ou réseaux (Modbus, Architecture d'un API
- Ethernet/IP, Profinet, etc.).

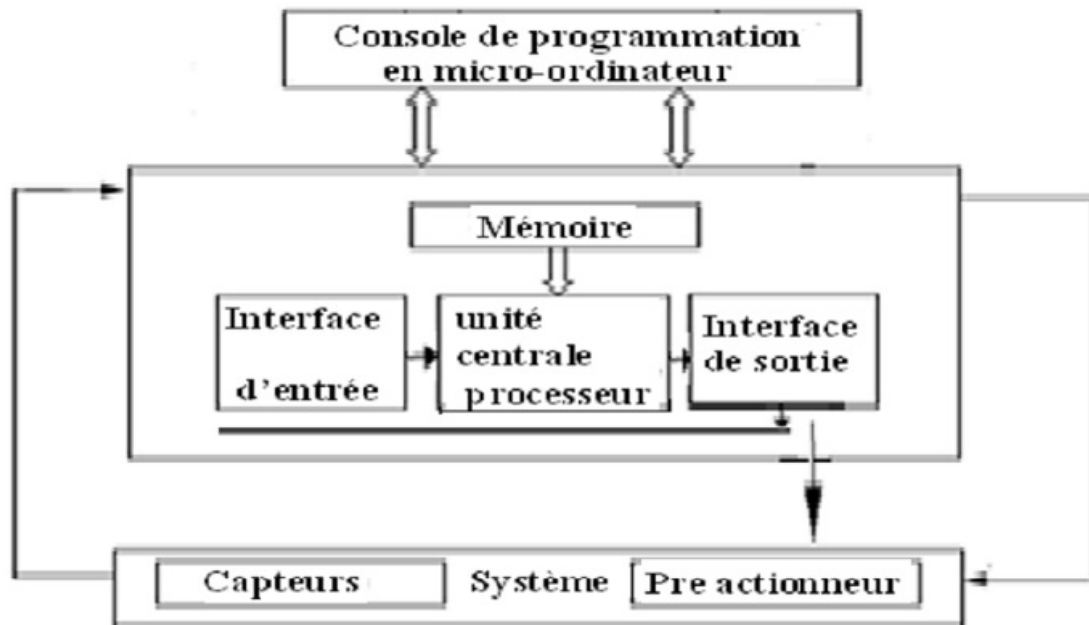


Figure 1. 3. Architecture d API

4.1 Langages de Programmation

Les API sont programmés via des logiciels spécifiques (ex. TIA Portal, Sysmac Studio) en utilisant les langages normalisés suivants :

- LD (Ladder Diagram) : schéma électrique (le plus utilisé par les électriciens).
- ST (Structured Text) : langage structuré proche du Pascal.
- FBD (Function Block Diagram) : schéma de blocs fonctionnels interconnectés.
- SFC (GRAFCET) : gestion séquentielle par étapes et transitions.
- IL (Instruction List) : langage textuel bas niveau, proche de l'assembleur (de moins en moins utilisé).

Avantages des API

- Robustesse : conçus pour les environnements extrêmes (poussière, température, vibrations, humidité).

- Flexibilité : programmation adaptable aux besoins spécifiques.
- Fiabilité : fonctionnement 24/7 avec diagnostics intégrés.
- Interopérabilité : intégration dans des réseaux industriels connectés.
- Évolutivité : modules et fonctions avancées (IoT, IA, maintenance prédictive).

4.2 Types d'Informations Traitées

- T.O.R. (Tout Ou Rien) : signaux binaires (0/1).
- Analogiques : valeurs continues (température, pression...).
- Numériques : données codées échangées avec d'autres dispositifs intelligents.

4.3 Applications Industrielles

Les API sont utilisés dans de nombreux secteurs :

- Automobile : chaînes de montage et assemblage robotisé.
- Agroalimentaire : gestion des lignes de production.
- Pharmaceutique : contrôle des procédés critiques.
- Énergie : supervision des réseaux et automatisation.
- Bâtiment : gestion des installations (éclairage, CVC, sécurité).
- Métallurgie, papeterie, verre : régulation de températures, vitesses, cycles.

5. Automate Programmable PLC

Le PLC (API ou PLC – Programmable Logic Controller) est un micro-ordinateur robuste conçu pour automatiser les processus électromécaniques en temps réel. Résistant aux conditions industrielles (poussière, chaleur, humidité), il remplace les relais câblés, temporisateurs et séquenceurs grâce à sa flexibilité et sa fiabilité.

5.1 Composants matériels

Un PLC comprend plusieurs éléments clés : (Tavernier, C. (2000).

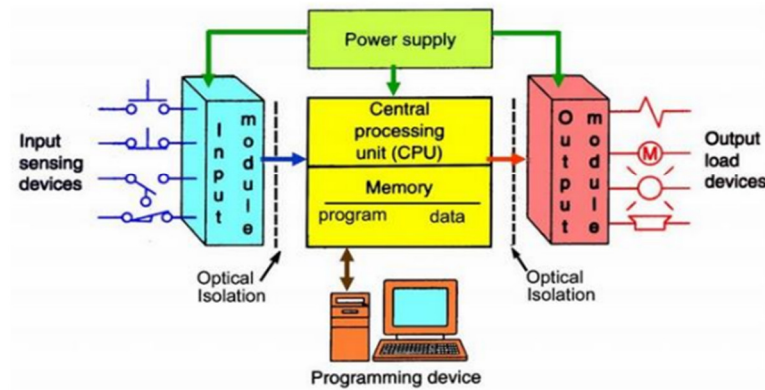


Figure 1 .4. Les composants d'un PLC

- CPU (Unité Centrale de Traitement) : C'est le cerveau de l'automate. Il exécute le programme, traite les données et contrôle la communication avec les autres modules.
- Mémoire : Elle stocke le système d'exploitation (ROM), les données temporaires (RAM) et les programmes permanents (PROM).
- Modules E/S (Entrées/Sorties) : Ces interfaces permettent de connecter les capteurs (entrée) et actionneurs (sortie) du terrain. Elles peuvent être numériques ou analogiques et sont protégées par des opto-isolateurs.
- Alimentation : Fournit les tensions nécessaires au fonctionnement de l'automate et des périphériques (souvent 24 VDC ou 220 VAC).
- Dispositifs de programmation : Un PC ou un HMI (interface homme-machine) permet de créer, charger, surveiller et diagnostiquer les programmes.
- Bus système : Voies internes (données, contrôle, adresses) assurant la communication entre composants.
- Cycle de balayage (Scan cycle) : Le PLC lit les entrées, exécute le programme, puis met à jour les sorties dans un cycle rapide et continu.

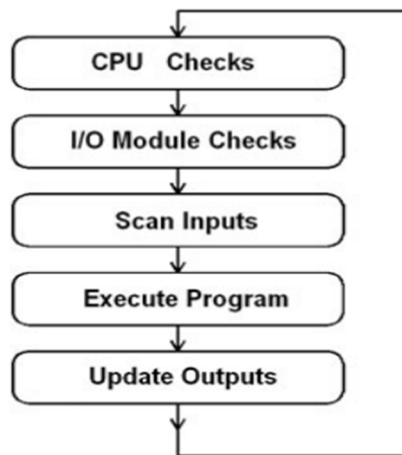


Figure 1 .5. plc scan style

5 .2 Norme EN/IEC 61131

Depuis 1992, la norme internationale IEC 61131 unifie le développement des systèmes PLC : elle définit les exigences matérielles, les langages de programmation, les guides utilisateurs et la communication entre modules. Elle favorise la compatibilité et l'interopérabilité entre fabricants.

5 .3 Langages de programmation

L'IEC 61131-3 définit cinq langages adaptés aux différents besoins :

1. Ladder Diagram (LD) : Langage graphique basé sur des contacts et relais, très répandu.

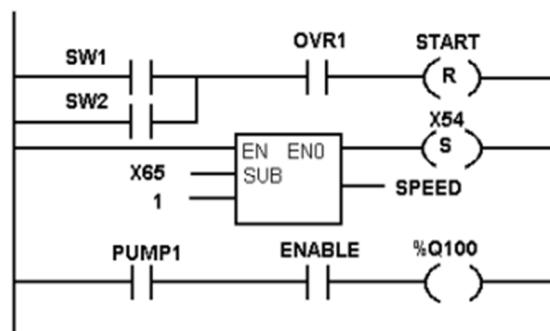


Figure 1 .6. Example of ladder program

2. Function Block Diagram (FBD) : Représentation graphique de blocs fonctionnels interconnectés.

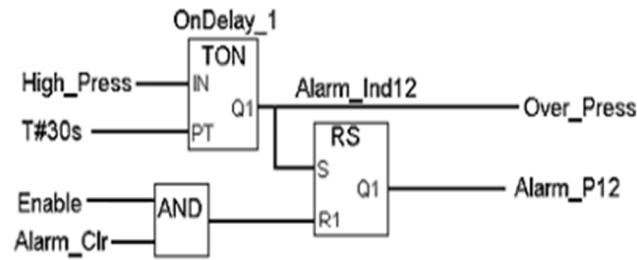


Figure 1 .7. FBD programme

3. Structured Text (ST) : Langage textuel puissant, idéal pour les programmes complexes et compacts. [4]

```

1 IF #start = 1 THEN
2     //comment
3     "Max_nr" := #Array[0];
4 FOR #i := 1 TO 10 DO
5     // Statement section FOR
6     IF #Array[#i] > "Max_nr" THEN
7         "Max_nr" := #Array[#i];
8     END_IF;
9 END_FOR;
10 END_IF;
11

```

Figure1 . 8. Partie d'un programme textuel [4]

6 . Les types d'automatisation

Allant d'un simple convoyeur à courroie à des robots soudeurs dotés d'intelligence artificielle, il est important de comprendre que les systèmes automatisés peuvent prendre une multitude de formes. Il existe donc différents types d'automatisation

6.1 Automatisation fixe :

Les systèmes d'automatisation fixes sont conçus pour exécuter une seule tâche répétitive sans faille pendant une longue période. Une fois mis en place, ces systèmes peuvent nécessiter d'importantes modifications pour effectuer une tâche différente.

Idéaux pour les processus de production uniformes à grand volume, les systèmes d'automatisation fixes excellent dans l'exécution de tâches monotones.

6.2 Automatisation programmable:

Les systèmes d'automatisation programmables sont conçus pour exécuter une tâche spécifique jusqu'à ce qu'une condition prédéfinie déclenche le passage à une autre tâche. Ce type d'automatisation est particulièrement utile pour les opérations dont les tâches peuvent changer dans un cadre bien défini.

Bien que ces systèmes offrent une certaine souplesse de reprogrammation pour des tâches différentes, la modification de leur programmation peut entraîner des temps d'arrêt considérables.

6.3 Automatisation flexible :

Les systèmes d'automatisation flexibles peuvent alterner entre les tâches, à l'instar de l'automatisation programmable. Cependant, ces systèmes ont l'avantage supplémentaire de s'autocontrôler et d'ajuster leurs opérations en fonction des conditions mesurées.

Les systèmes de contrôle intelligents, qui peuvent exécuter plusieurs tâches simultanément sur la base d'entrées provenant d'humains et/ou d'autres systèmes, sont de bons exemples d'automatisation flexible.

6.4 Automatisation intégrée

Les systèmes d'automatisation intégrés sont constitués de divers composants mis en réseau pour fonctionner collectivement. Ils peuvent incorporer tous les types d'automatisation mentionnés précédemment – fixes, programmables ou flexibles – dans un système plus large et cohésif. [5]

6.5 L'interface Homme-Machine (IHM)

Est un élément essentiel des systèmes industriels automatisés. Elle permet aux opérateurs d'interagir efficacement avec les machines et les processus, en facilitant la surveillance, le contrôle et l'optimisation des opérations industrielles.

Une IHM est une interface utilisateur qui relie une personne à une machine, un système ou un dispositif Elle peut se présenter sous forme de matériel (écrans tactiles, pupitres opérateurs) ou de logiciels (tableaux de bord, interfaces graphiques) L'objectif principal est de fournir une plateforme intuitive pour que les utilisateurs puissent surveiller et contrôler les systèmes automatisés.

7 . Rôle dans l'automatisation industrielle

Dans le contexte de l'automatisation industrielle, les IHM jouent un rôle crucial en permettant

- La surveillance en temps réel : Les opérateurs peuvent visualiser l'état des machines, les performances et les alertes, facilitant ainsi une réponse rapide aux anomalies
- Le contrôle des processus : Les IHM offrent la possibilité d'ajuster les paramètres de fonctionnement des machines pour optimiser la production
- La maintenance prédictive : En analysant les données collectées, il est possible de prévoir les besoins de maintenance et de réduire les temps d'arrêt. Ces fonctionnalités contribuent à améliorer l'efficacité, la sécurité et la productivité des opérations industrielles

7.1 Évolution vers l'Industrie 4.0

Avec l'avènement de l'Industrie 4.0, les IHM ont évolué pour intégrer des technologies avancées telles que :

- La réalité augmentée (RA) Fournit des informations contextuelles superposées à l'environnement réel, aidant les opérateurs dans leur tâche.
- L'intelligence artificielle (IA) Permet une analyse approfondie des données pour une prise de décision plus informée.
- La connectivité IoT Assure une communication fluide entre les machines, les capteurs et les systèmes de gestion
- Ces avancées renforcent la capacité des IHM à offrir une interface plus intuitive, réactive et adaptée aux besoins des utilisateurs.

7.2 Enjeux de cybersécurité

L'intégration accrue des IHM dans les réseaux industriels expose les systèmes à des risques de cybersécurité [6]

Il est donc essentiel de mettre en place des mesures de protection, telles que :

- L'authentification des utilisateurs : Garantir que seules les personnes autorisées accèdent aux systèmes.

- Le chiffrement des données : Protéger les informations échangées contre les interceptions malveillantes.
- La surveillance continue : Détecter et répondre rapidement à l'activité suspecte.

Ces pratiques contribuent à assurer la sécurité et la fiabilité des opérations industrielles.

8. Conclusions

Ce premier chapitre nous a permis d'explorer les fondements de l'automatisation industrielle, en mettant en lumière l'évolution des systèmes automatisés, leurs composants essentiels (capteurs, actionneurs, interfaces IHM), ainsi que le rôle crucial des automates programmables industriels (API).

Nous avons ainsi compris comment les technologies de contrôle automatique participent à la modernisation des processus industriels, en améliorant la productivité, la sécurité et la précision. Ce cadre théorique constitue la base indispensable pour aborder l'intégration de microcontrôleurs dans les systèmes automatisés.

Chapitre 02

Micro Controllers PIC 16f877

Chapitre 02: Microcontrôleurs PIC 16F877

1. Introduction

Le développement de l'électronique numérique a conduit à l'émergence de composants de plus en plus performants, notamment les systèmes microprogrammés. Ces derniers se distinguent par leur capacité à s'adapter aux contraintes technologiques modernes, à gérer un grand nombre de fonctionnalités et à offrir un coût de revient réduit. Ces avantages ont favorisé leur adoption aussi bien dans les applications domestiques qu'industrielles. Avec la complexification croissante des fonctions électroniques, les composants programmables ont progressivement remplacé l'électronique classique, car les circuits intégrés analogiques ou logiques ne suffisent plus à répondre aux exigences actuelles.

Historiquement, les premiers systèmes microprogrammés ont été développés pour les calculatrices de bureau et de poche, avec des instructions orientées vers le calcul numérique. Grâce à la maîtrise progressive de cette technologie, les fabricants ont conçu des circuits à usage général : les microprocesseurs.

L'évolution des microprocesseurs a marqué une étape cruciale dans le développement des systèmes microprogrammés.

Voici quelques jalons historiques :

1971 : Intel lance le premier microprocesseur 4 bits, le 4004. La miniaturisation des transistors a ensuite permis une augmentation significative de la capacité d'intégration sur silicium, conduisant à l'émergence successive des : Processeurs 8 bits, processeurs 16 bits, processeurs 32 bits et processeurs 64 bits. Cette miniaturisation a également ouvert la voie à la conception de systèmes embarqués, offrant des performances accrues et une consommation énergétique optimisée.

1.1. Définition d'un microprocesseur

Microprocesseur est un circuit intégré complexe caractérisé par une très grande intégration et doté des facultés d'interprétation et d'exécution des instructions d'un programme. Il est chargé d'organiser les tâches précisées par le programme et d'assurer leur traitement. [6]

C'est le cerveau du système. Il est parfois appelé CPU (Central Processing Unit) et est caractérisé par sa fréquence d'horloge (en MHz), sa largeur des bus de données et d'adresse, sa mémoire adressable, le nombre de transistors 1 et la taille de la gravure (en microns). Ses performances sont caractérisées par le CPI (Cycle Par Instruction) et le MIPS (Millions d'Instructions Par Secondes) qui dépendent directement de la fréquence d'Horloge et son jeu d'instructions.



Figure 2 .1. Microcontroller pic 16F877A.

Ils présentent trois avantages principaux : ils sont économiques et offrent une souplesse d'emploi inhérente à la programmation.

2. Modèle de base d'un microprocesseur

Dans un microprocesseur, on retrouve une Unité Arithmétique et Logique (UAL), une Unité de Contrôle (UC), des registres et des bus ou chemins de données.

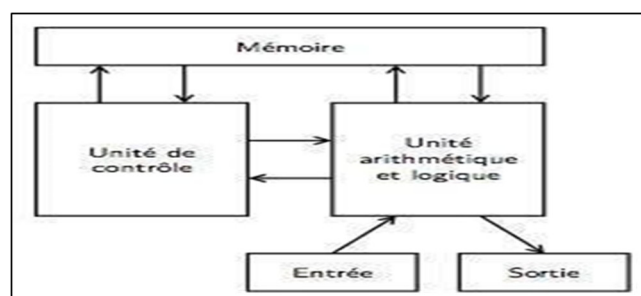


Figure 2.2. Structure de base d'un microprocesseur.

2.1. Unité Arithmétique et Logique

Elle dispose de circuits réalisant des opérations des fonctions logiques (ET, OU, comparaison, décalage,...) ou arithmétique (addition, soustraction,...). En entrée de l'UAL, on a des commandes permettant d'activer les opérations, venant de l'unité de contrôle. En sortie, on a les résultats des opérations et les conditions qui sont en fait les entrées de l'unité de contrôle. L'UAL est composé de:

- Les accumulateurs : Ce sont des registres de travail qui servent à stocker un opérande au début d'une opération arithmétique et le résultat à la fin de l'opération.
- L'Unité Arithmétique et Logique: C'est un circuit complexe qui assure les fonctions logiques (ET, OU, Comparaison, Décalage, etc...) ou arithmétique (Addition, soustraction...)
- Le registre d'état : Il est généralement composé de 8 bits à considérer

Individuellement. Chacun de ces bits est un indicateur dont l'état dépend du résultat de la dernière opération effectuée par l'UAL. On les appelle indicateur d'état ou flag ou drapeaux (Retenue, débordement, zéro, ...).

2.2. Unité de contrôle ou séquenceur

L'unité de contrôle est un circuit logique séquentiel chargée de séquencer l'algorithme et de générer les signaux de contrôle pour piloter les éléments du chemin de données. Elle envoie des commandes à l'unité de traitement qui va exécuter les traitements. L'unité de control contient:

- Le compteur de programme (PC : Programme Counter) appelé aussi Compteur Ordinal (CO) : Il est constitué par un registre dont le contenu est initialisé avec l'adresse de la première instruction du programme. Il contient toujours l'adresse de la prochaine instruction à exécuter
- Le registre d'instruction et le décodeur d'instruction : Chacune des instructions à exécuter est transféré depuis la mémoire dans le registre instruction puis est décodée par le décodeur d'instruction.

- Bloc logique de commande (ou séquenceur) : Il organise l'exécution des instructions au rythme d'une horloge. Il élabore tous les signaux de synchronisation internes ou externes (bus de commande) du microprocesseur en fonction de l'instruction qu'il a à exécuter. Il s'agit d'un automate réalisé de façon microprogrammée

2.3. Les bus

Un bus est un ensemble de lignes de communications groupées par fonction. Il permet de faire transiter (liaison série/parallèle) des informations codées en binaire entre deux points. Il est caractérisé par le nombre de lignes et la fréquence de transfert. Il existe 3 Types de bus :

- Bus de données (bi-directionnel): permet de transférer entre composants des données, ex. : résultat d'une opération, valeur d'une variable, etc.. Le nombre de lignes du bus de données définit la capacité de traitement du microprocesseur ; selon le microprocesseur la largeur du bus peut être de 8 bits, 16 bits, 32 bits, 64 bits.
- Bus d'adresses (uni-directionnel): permet de transférer entre composants des adresses, ex. : adresse d'une case mémoire, etc... L'espace adressable peut avoir 2^n emplacements, avec n est le nombre de lignes du bus d'adresses.
- Bus de contrôle (bi-directionnel): permet l'échange entre les composants d'informations de contrôle [bus rarement représenté sur les schémas]. ex. : périphérique prêt/occupé, erreur/exécution réussie, etc.

2.4. Les registres

C'est un espace mémoire interne au processeur. On distingue deux types : à usage général qui permettent à l'UAL de manipuler des données et les registres d'adresses qui sont connectés au bus d'adresse.

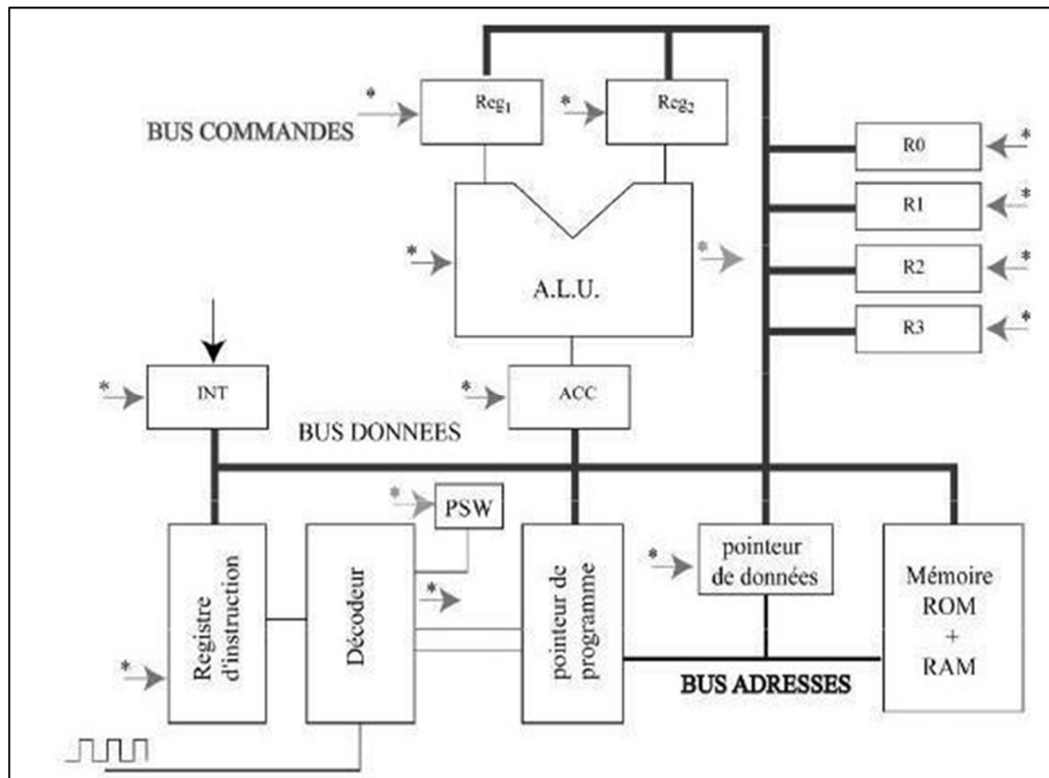


Figure.2 .3 Structure interne d'un microprocesseur.

2.5. Les mémoires

Le processeur exécute les instructions machines présente dans la mémoire et traite les données qu'elle contient : le fonctionnement du microprocesseur est entièrement conditionné par le contenu de celles-ci. La mémoire peut être vue comme un ensemble de cellules ou cases contenant chacune une information : une instruction ou une donnée. Chaque case mémoire est repérée par un numéro d'ordre unique : son adresse.

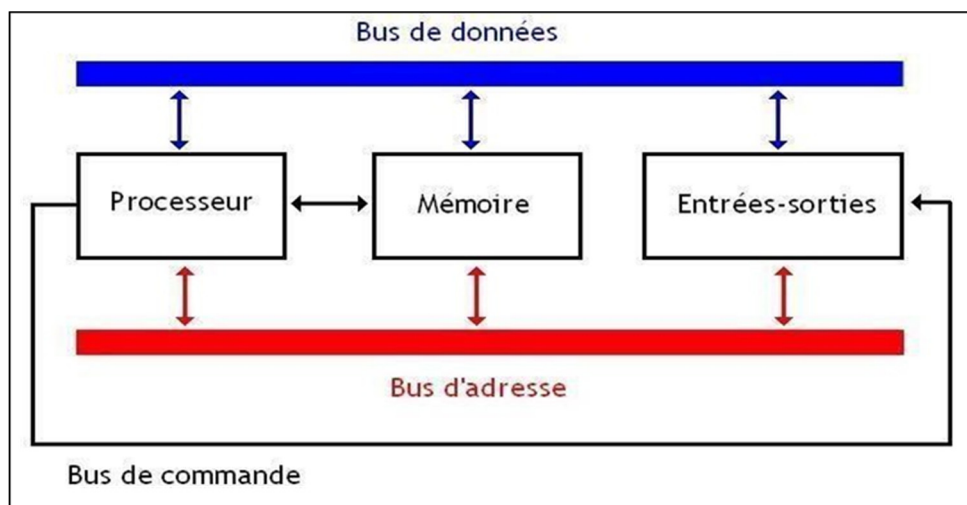


Figure 2 .4 Structure générale d'un système piloté par un microprocesseur.

Une case mémoire peut être lue ou écrite par le microprocesseur (cas des mémoires vives) ou bien seulement lue (cas des mémoires mortes).



Figure 2 .5 Format d'une instruction

Les opérandes sont stockés dans des mémoires RAM. Un jeu d'instruction est l'ensemble d'opérations élémentaires effectué par le microprocesseur.

3. Du microprocesseur au microcontrôleur

Le microcontrôleur est un dérivé du microprocesseur. Sa structure est celle des systèmes à base de microprocesseurs. Les microcontrôleurs améliorent l'intégration et le coût (lié à la conception et à la réalisation) d'un système à base de microprocesseur en rassemblant ces éléments essentiels dans un seul circuit intégré. Un microcontrôleur est donc un composant autonome, capable d'exécuter le programme contenu dans sa mémoire morte dès qu'il est mis sous tension. Selon les modèles et les conditions de fonctionnement, les microcontrôleurs peuvent avoir besoin de quelques composants externes (quartz, quelques condensateurs, parfois une ROM), mais ceci reste très limité.

Lorsque toutes les fonctions du système informatique sont regroupées dans un unique circuit intégré, y compris les fonctions logiques, analogiques, radiofréquence, d'interface (USB, Ethernet, etc.), on parle alors de System on Chip (système sur puce ou système mono-puce).

Ces composants sont basés sur un ou plusieurs cœurs de microcontrôleur, de microprocesseur ou de DSP.

Les microcontrôleurs sont de taille tellement réduite qu'ils peuvent être sans difficulté implantés sur l'application même qu'ils sont censés piloter. Leur pris et leurs performances simplifient énormément la conception de système électronique et informatique. L'utilisation des microcontrôleurs ne connaît la limite que l'ingéniosité des concepteurs, on les trouve dans

nos cafetières, les magnétoscopes, les radios Une étude menée en l'an 2004 montre qu'en moyenne, un foyer américain

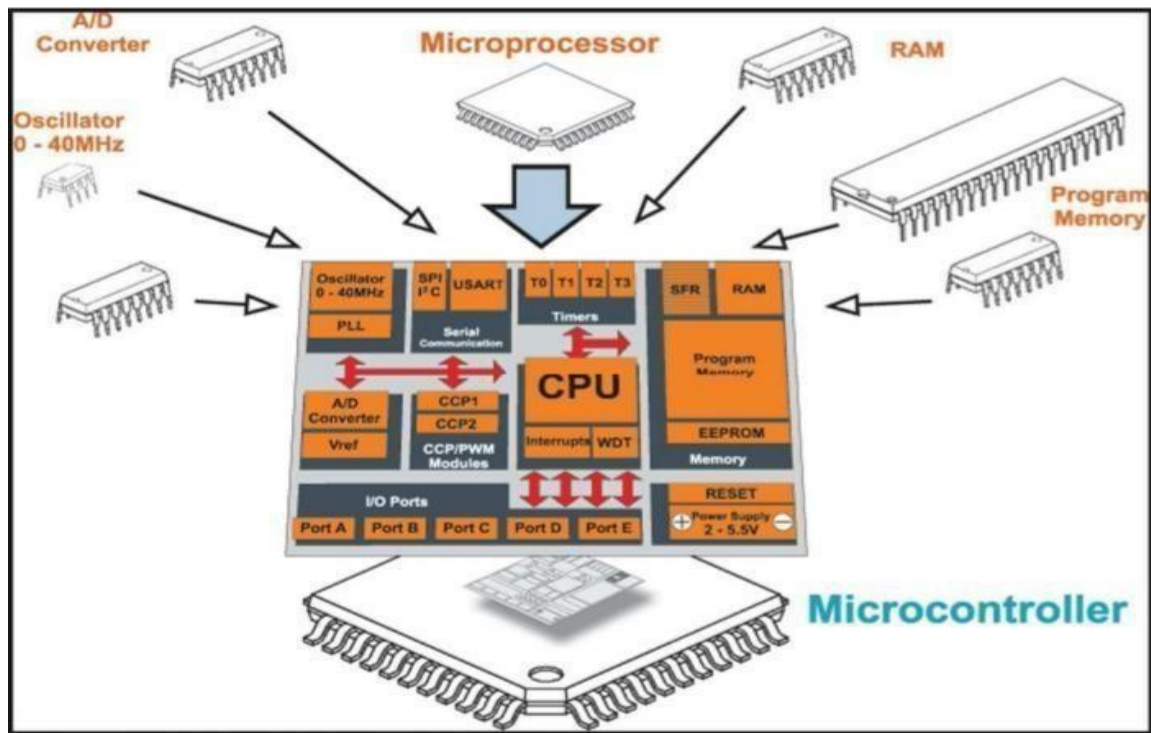


Figure2.6. Les composants internes d'un microcontrôleur.

3.1. Familles de microcontrôleurs

Les microcontrôleurs sont classés en différentes familles selon leur architecture, leur fabricant et leur domaine d'application. Citons par exemple quelques familles :

- o La famille Atmel AT91 ;
- o La famille And AVR (utiliser par des cartes Andain) ;
- o Le €167 de Siemens/Infineon ;
- o La fastrille Hitachi 16 ;
- o La famille Intel 51, qui ne cesse de grandir ; de plus, certains processeurs récents utilisent un Cœur 8051, qui est complété par divers périphériques (ports d'E/S, compteurs/temporisateurs, Convertisseurs A/N et N/A, chin de inle, superar de termion, etc); "Imel 8085, à Forigine conçu pour être in microprocesseur, a en pratique souvent été utilisé en tant que microcontrôleur;

- o Le Freescale S&HCIL ;
- o La famille Freescale 68HCON ;
- o La famille Freescale 68HC12 ,
- o La famille des PIC de Microchip:
- o La famille des C de Microchip:
- o La famille des NT6, 817. SIMB, ST10, STR7, STR9, STM12 de STMicroelectronics ;
- o La famille ADOC d'Analog Devices ;
- o La famille PICBASIC de Comfile Techlogy ;
- o La famille MSP430 de Texas Instruments ;
- o La famille 8080, dont les héritiers sont le microprocesseur Zilog Z80 (désormais utilisé en tant que contrôleur dans l'embarquet et le microcontrôleur Rabbit ;
- o La famille PsoC de Cypress;
- o La famille PC2x3 ARME-TOMI ale Philips ;
- o La famille V800 de NEC ;
- o La famille Ko de NEC

4. Présentation d'un Microcontrôleur PIC

Les microcontrôleurs PIC (Peripheral Interface Controller) sont des circuits intégrés programmables développés par Microchip Technology. Ils sont largement utilisés en électronique embarquée pour le contrôle de systèmes automatisés, la robotique, les appareils électroménagers, l'industrie automobile, et bien d'autres applications.[7]

4.1. Caractéristiques Générales des Microcontrôleurs PIC

Les PIC se distinguent par plusieurs caractéristiques clés :

- o Architecture RISC : Ils utilisent une architecture RISC (Reduced Instruction Set Computer), ce qui signifie qu'ils ont un jeu d'instructions réduit et optimisé pour une exécution rapide. Certains modèles utilisent une architecture Harvard (séparation mémoire programme et mémoire données).

- o Gammes de Microcontrôleurs PIC :

Microchip propose plusieurs familles de PIC adaptées à différents besoins :

1. PIC10 : Très petits microcontrôleurs à faible coût et basse consommation.
2. PIC12 : 8 bits, faible nombre de broches, pour des applications simples.
3. PIC16 : 8 bits, très populaire, idéal pour les projets intermédiaires.
4. PIC18 : 8 bits, performances améliorées avec des fonctionnalités avancées.
5. PIC24 : 16 bits, plus de puissance pour des applications plus complexes.
6. dsPIC : 16 bits avec fonctionnalités DSP (Digital Signal Processing).
7. PIC32 : 32 bits, haute performance pour des systèmes embarqués avancés.

- o **Mémoire et Périphériques :**

Mémoire Flash : permet de programmer et reprogrammer le microcontrôleur plusieurs fois.

RAM et EEPROM : pour le stockage temporaire et permanent des données.
Convertisseurs ADC/DAC : pour les applications analogiques. Interfaces de communication : UART, SPI, I2C, CAN, USB, Ethernet. Timers et PWM : utilisés pour la gestion du temps et du contrôle de puissance.

4.2. Programmation des Microcontrôleurs PIC

Les microcontrôleurs PIC sont programmés en utilisant différents langages : Langage Assembleur : proche du matériel, offre un contrôle précis, Langage C : plus accessible et largement utilisé avec des compilateurs comme MPLAB XC8, XC16, XC32 et Langage Basic et Flowcode : pour des applications simplifiées.[8]

Outils de Développement : MPLAB X IDE (environnement de développement officiel de Microchip), compilateurs (XC8, XC16, XC32 selon la famille de PIC utilisée) et programmeurs/Débogueurs, PICkit, ICD (In-Circuit Debugger), et autres.

Les avantages des Microcontrôleurs PIC sont résumés dans ces phrases : Facilité d'utilisation et large documentation, faible consommation énergétique, large gamme de produits pour diverses applications, bon rapport performance/prix, et supporte diverses interfaces de communication.

Les inconvénients des Microcontrôleurs PIC sont résumés dans ces points : Moins puissant que d'autres architectures comme ARM. Certaines familles ont un jeu d'instructions limité. Et l'environnement MPLAB peut être complexe pour les débutants.

4.3. Applications des Microcontrôleurs PIC

Les PIC sont utilisés dans de nombreux domaines : [9]

- o Automatisation industrielle : contrôle de moteurs, capteurs, interfaces HMI.
- o Robotique : gestion des servomoteurs et capteurs.
- o Systèmes embarqués : télécommandes, systèmes domotiques.
- o Médical : équipements de surveillance et capteurs biomédicaux.
- o Automobile : contrôle des systèmes électroniques embarqués.

5. Microcontrôleur PIC16F877

Le PIC16F877 est un microcontrôleur 8 bits appartenant à la famille PIC16, développé par Microchip Technology. Il est largement utilisé dans les systèmes embarqués en raison de sa polyvalence, de sa faible consommation énergétique et de la simplicité de sa programmation. Son architecture Harvard, qui distingue la mémoire programme de la mémoire de données, repose sur un bus de données de 8 bits et un bus d'instructions de 14 bits. Il intègre un jeu d'instructions RISC optimisé, composé de seulement 35 instructions, ce qui permet une exécution rapide grâce à un pipeline à deux niveaux, capable de traiter une instruction par cycle d'horloge.

5.1. Structure interne

Ce microcontrôleur dispose d'une mémoire Flash de 14K mots pour le stockage du programme, d'une mémoire RAM de 368 octets pour les données volatiles, ainsi que d'une mémoire EEPROM de 256 octets dédiés à la conservation de données non volatiles. Il comprend cinq ports d'entrée/sortie (PORTA à PORTE), tous configurables individuellement comme entrées ou sorties, ce qui facilite son adaptation à diverses interfaces matérielles.

5.2. Mémoire

Le PIC16F877 est également équipé de trois minuteries internes : un Timer0 de 8 bits, un Timer1 de 16 bits (pouvant fonctionner en mode veille et avec horloge externe), et un Timer2 de 8 bits, doté de diviseurs de fréquence en pré et post-traitement. Il intègre un convertisseur analogique-numérique (CAN) de 10 bits de résolution, permettant l'acquisition de signaux analogiques sur 8 canaux. Pour la communication série, il supporte les protocoles USART (mode asynchrone RS232 ou synchrone), SPI, ainsi que le bus I²C via un port série synchrone (SSP), pouvant fonctionner en mode maître ou esclave.

Le module CCP (Capture/Compare/PWM) permet quant à lui la capture de signaux externes, la comparaison temporelle, ainsi que la génération de signaux PWM avec une résolution pouvant atteindre 10 bits. Enfin, son oscillateur peut fonctionner avec un quartz jusqu'à 20 MHz, chaque cycle machine correspondant alors à un quart de la fréquence d'horloge. L'unité centrale de traitement, dotée d'un registre de travail principal (WREG), d'un registre d'état (Status), et d'une pile matérielle de 8 niveaux pour le retour de sous-programmes, permet une gestion efficace des interruptions via un vecteur unique. Grâce à cette combinaison de caractéristiques techniques, le PIC16F877 représente une solution fiable et performante pour de nombreuses applications de contrôle embarqué.

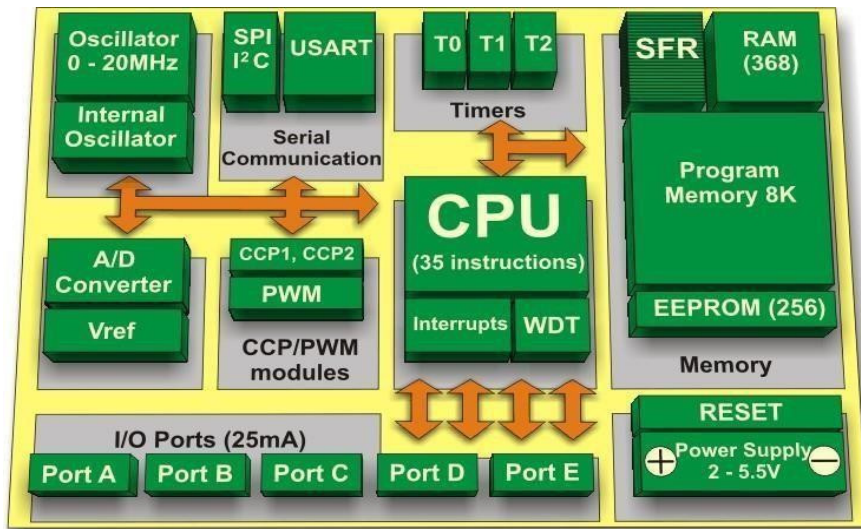


Figure2.7. Architecture interne du PIC 16F877

5.3. Structure externe du PIC

La structure externe d'un microcontrôleur PIC comprend plusieurs broches servant à l'alimentation, aux entrées/sorties, à l'horloge et à la réinitialisation. Chaque modèle de PIC peut avoir une configuration spécifique, mais en général, on retrouve : Broches d'alimentation (V_{dd}, V_{ss}), broches d'oscillateur (OSC1, OSC2), broche de reset (MCLR), ports d'entrée/sortie (PORTA, PORTB, etc.) et broches de communication (UART, SPI, I2C, etc.).[10]

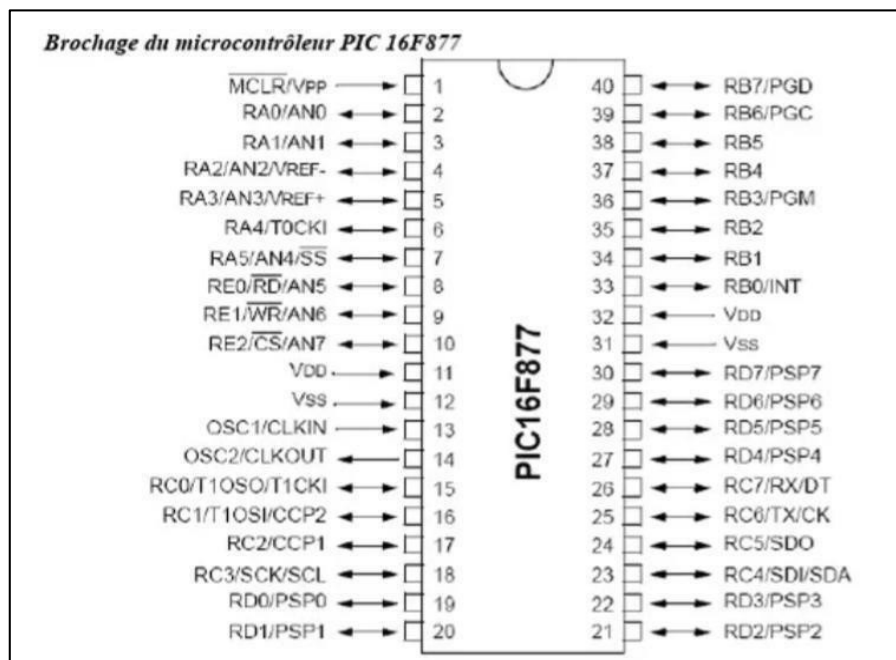


Figure2.8. Brochage du PIC 16F877

5.4. Alimentation du PIC

Un microcontrôleur PIC nécessite généralement une tension d'alimentation de 5V ou 3.3V, selon le modèle. Les broches concernées sont : Vdd: Tension positive d'alimentation et Vss: Masse (GND). Certains modèles incluent un régulateur de tension intégré pour permettre un fonctionnement à des tensions plus élevées.

5.5. Cadencement du PIC (Oscillateur)

Le microcontrôleur PIC a besoin d'un signal d'horloge pour exécuter ses instructions. Il peut fonctionner avec plusieurs types d'oscillateurs : Oscillateur à quartz (XTAL) : un cristal relié aux broches OSC1 et OSC2, oscillateur RC interne : certaines familles de PIC intègrent un oscillateur interne programmable (ex. 4 MHz, 8 MHz) et oscillateur externe : un signal d'horloge généré par un circuit externe. Le choix du cadencement influence directement la vitesse d'exécution des instructions du microcontrôleur.

5.6. Circuit Reset (MCLR)

La broche MCLR (Master Clear Reset) permet de redémarrer le microcontrôleur. Cette broche doit être tirée vers le haut via une résistance de 10k Ω pour éviter des réinitialisations accidentelles. Elle peut être activée manuellement ou automatiquement par des circuits de surveillance de tension (Brown-out Reset).

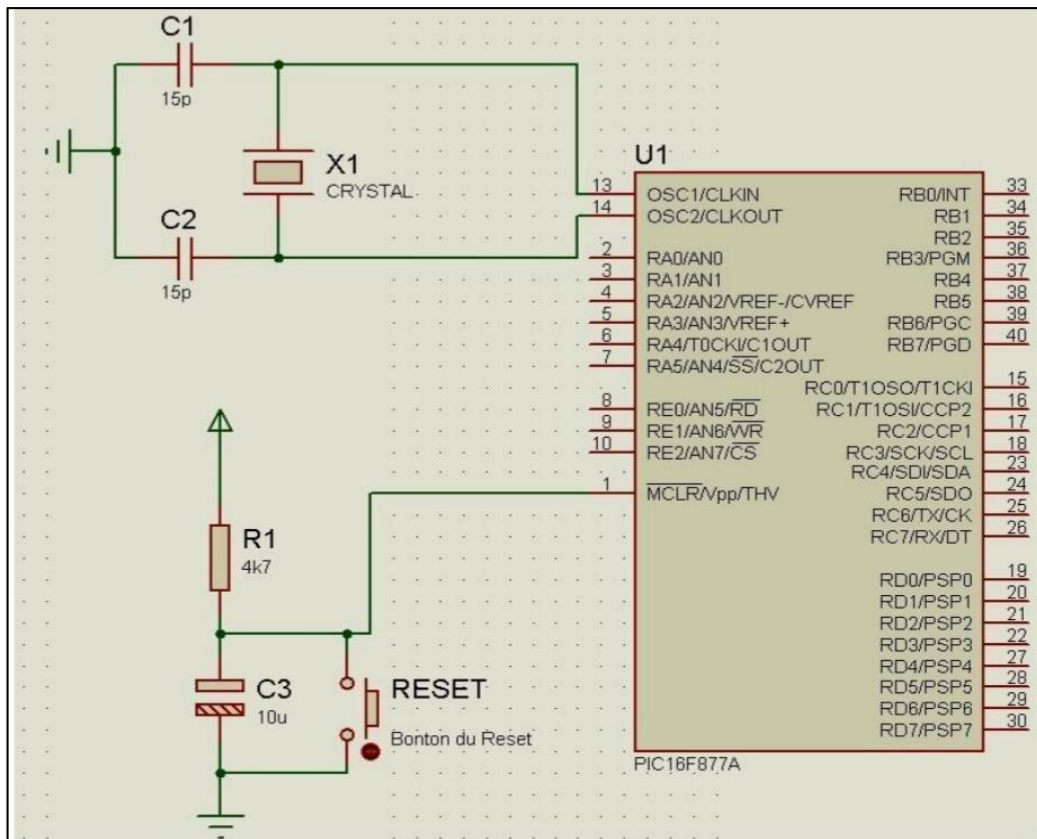


Figure 2.9 Circuit RESET et oscillateur d'un PIC 16F877

5.7. Ports d'entrées/sortie

Le PIC 16F877 est un microcontrôleur de la famille des PIC16 de Microchip Technology. Il dispose de 5 ports d'entrée/sortie (I/O) nommés PORTA, PORTB, PORTC, PORTD et PORTE. Le PIC 16F877A, dispose de 5 ports :

- o Port A : 6 pins I/O numérotées de RA0 à RA5. En effet, ces broches (sauf RA4) sont multiplexées avec les entrées du convertisseur analogique numérique (AN0...AN4). RA4 est multiplexée avec le timer0 (T0CKI).
- o Port B : 8 pins I/O numérotées de RB0 à RB7. Possibilité de déclenchement d'interruptions.
- o Port C : 8 pins I/O numérotées de RC0 à RC7. Partagé, avec liaison, les timers 1 et 2 et les modules CCP.
- o Port D : 8 pins I/O numérotées de RD0 à RD7. Possibilité d'interfaçage avec un autre processeur et autres.

- o Port E : 3 pins I/O numérotées de RE0 à RE2. Possibilité d'interfaçage avec un autre processeur et autres.

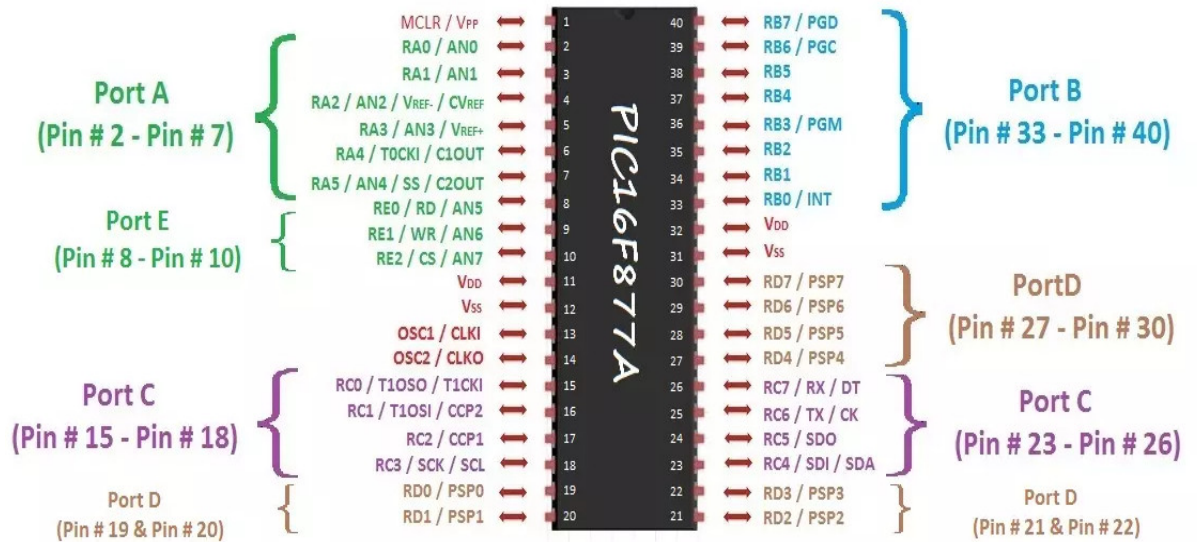


Figure2.10. Les différents ports du microcontrôleurs PIC16F877A

A chaque port correspondent deux registres :

- o Un registre direction pour programmer les lignes en entrée ou en sortie : TRISA, TRISB, TRISC, TRISD, TRISE.
- o Un registre de données pour lire ou modifier l'état des broches : PORTA, PORTB, PORTC, PORTD, PORTE.

Pour déterminer les modes des ports (I/O), il faut sélectionner leurs registres TRISX :

- o Le positionnement d'un bit à "1" programme la broche correspondante en entrée.
- o Le positionnement d'un bit à "0" programme la broche correspondante en sortie.

6 .Chien de garde

Un chien de garde, ou watchdog timer en anglais, est un dispositif matériel ou logiciel utilisé pour surveiller le bon fonctionnement d'un système électronique, tel qu'un microcontrôleur. Il assure que le système ne reste pas bloqué dans une étape particulière du

traitement en cours. Si le système ne réinitialise pas régulièrement le chien de garde, celui-ci déclenche une action corrective, généralement une réinitialisation du système, pour le ramener à un état opérationnel normal.

Dans les microcontrôleurs PIC, le chien de garde est implémenté sous la forme d'un compteur qui s'incrémente continuellement grâce à une horloge interne indépendante de l'horloge principale du système. Ce compteur fonctionne même lorsque le microcontrôleur est en mode SLEEP. Lorsque le compteur atteint sa valeur maximale (un débordement), deux situations peuvent se produire :

- 1. En fonctionnement normal :** Si le microcontrôleur est actif et que le chien de garde atteint le débordement sans avoir été réinitialisé par le programme, il provoque une réinitialisation du microcontrôleur. Cela permet de récupérer le système en cas de blocage dû à un processus indésirable ou à une erreur logicielle.
- 2. En mode SLEEP :** Si le microcontrôleur est en mode basse consommation (SLEEP), le débordement du chien de garde ne provoque pas une réinitialisation complète, mais plutôt un réveil du microcontrôleur. Après ce réveil, l'exécution du programme reprend à l'instruction suivant celle qui a mis le microcontrôleur en mode SLEEP. Cette fonctionnalité est souvent utilisée pour réaliser des temporisations ou pour effectuer périodiquement des tâches spécifiques tout en conservant une consommation d'énergie minimale.

7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié en détail l'architecture et les fonctionnalités des microcontrôleurs, avec un focus particulier sur le modèle PIC16F877A.

Nous avons vu comment ce composant intègre dans un seul circuit plusieurs éléments essentiels d'un système embarqué : mémoire, ports I/O, modules de communication, timers et convertisseurs analogique-numérique.

Cette exploration technique nous a permis de mieux appréhender les capacités du PIC16F877A à répondre aux exigences des applications industrielles automatisées, tout en préparant la phase pratique du projet.

CHAPITRE 3

*Réalisation d'une carte à base
de PIC 16F877A pour
automatiser un poste de
perçage*

Chapitres 3 : Réalisation d'une carte à base de PIC 16F877A pour automatiser un poste de perçage

1. Introduction

Présentation générale du poste de perçage automatisé

Un poste de perçage automatisé est un système industriel conçu pour réaliser automatiquement des opérations de perçage sur des pièces mécaniques. L'objectif principal est de percer un trou cylindrique dans une pièce brute à l'aide d'un foret animé d'un mouvement combiné de rotation et de translation suivant un même axe. Les pièces à percer sont généralement empilées dans une goulotte d'alimentation. Un bras manipulateur saisit chaque pièce, la transfère vers un poste de bridage où elle est maintenue en position, puis le perçage est effectué. Après l'opération, la pièce est débridée et évacuée pour laisser place à la suivante, permettant ainsi un cycle continu et automatique

Le poste automatique de perçage comprend plusieurs composants essentiels :

- Un système de chargement des pièces (goulotte et tapis roulant),
- Un étau de serrage automatique pour maintenir la pièce,
- Une unité de perçage équipée d'un moteur et d'un vérin pour la descente et la montée du foret,
- Des capteurs (photoélectriques, codeurs) pour détecter la présence des pièces et contrôler les positions,
- Des actionneurs pneumatiques ou électriques (vérins, moteurs),
- Un coffret de commande intégrant un automate programmable ou un microcontrôleur pour piloter l'ensemble du processus

Le fonctionnement typique du poste suit un cycle précis : détection de la pièce, serrage, perçage (descente, rotation, remontée), desserrage, puis évacuation de la pièce percée. Ce cycle est répété automatiquement tant que des pièces sont présentes dans la goulotte

Intérêt de l'automatisation avec un microcontrôleur

L'automatisation d'un poste de perçage à l'aide d'un microcontrôleur présente plusieurs avantages majeurs :[11]

- **Intégration et compacité** : Le microcontrôleur est un circuit intégré qui regroupe un processeur, des mémoires et des interfaces d'entrées-sorties sur une seule puce. Cela permet de réduire la taille et la complexité du système de commande par rapport à des solutions à base de composants séparés
- **Coût et consommation réduits** : Par rapport aux microprocesseurs classiques ou aux systèmes à base d'automates programmables, les microcontrôleurs offrent une solution économique avec une faible consommation électrique, ce qui est idéal pour des systèmes embarqués industriels comme le poste de perçage
- **Programmable et flexibilité** : Le microcontrôleur peut être programmé pour gérer précisément les séquences de contrôle (comme le cycle de perçage), la lecture des capteurs, la commande des actionneurs, et la communication avec des interfaces homme-machine. Il permet d'adapter facilement le comportement du système aux besoins spécifiques
- **Réactivité et contrôle en temps réel** : Grâce à leur architecture intégrée, les microcontrôleurs peuvent assurer un contrôle en temps réel des opérations, ce qui est essentiel pour synchroniser les mouvements des vérins, moteurs et autres actionneurs dans le poste de perçage
- **Démocratisation et disponibilité** : Les microcontrôleurs sont largement utilisés dans l'industrie et les systèmes embarqués, avec une grande variété de modèles adaptés à différents besoins. Leur popularité facilite l'accès à des outils de développement et à une expertise technique
- **Automatisation industrielle avancée** : Dans le contexte plus large de l'automatisation industrielle, les microcontrôleurs jouent un rôle clé en tant que « cerveaux » des systèmes de contrôle sophistiqués, permettant une meilleure productivité, fiabilité et innovation dans les processus de fabrication

2. Description de poste de perçage

2.1 Cahier d charge :

Le processus commence dès qu'une pièce est correctement positionnée au centre du trou prévu à cet effet. Une fois cette condition remplie, et après la réception de l'ordre de fonctionnement désigné sous le nom de "Dcy", une séquence automatisée s'enclenche. Dans un premier temps, la pièce est solidement maintenue en place grâce à l'action d'un bras de

levier qui exerce une pression suffisante pour éviter tout mouvement pendant les étapes suivantes. Cette phase de fixation est essentielle pour garantir la précision du perçage ainsi que la sécurité de l'opération. [12]

Ensuite, l'unité de perçage entre en action : elle amorce un mouvement de descente contrôlée en direction de la pièce, jusqu'à atteindre une position prédéfinie, appelée h2. Cette position marque un seuil critique dans le cycle. À cet instant précis, le moteur de perçage est activé. Il commence alors à tourner à une vitesse adaptée aux caractéristiques de la pièce et du matériau à percer, ce qui permet d'assurer une coupe nette et efficace. Pendant que le moteur tourne, l'unité de perçage continue sa descente pour réaliser le trou selon les spécifications techniques.

Une fois le perçage terminé, le moteur s'arrête automatiquement et l'unité de perçage amorce alors un mouvement de remontée jusqu'à sa position initiale. Cette remontée se fait de manière fluide pour éviter tout choc ou endommagement de la pièce ou de l'outil. Lorsque l'unité atteint le sommet de sa course, le bras de levier se relâche, libérant ainsi la pièce. Cette libération marque la fin du cycle d'usinage, et le système est alors prêt à recevoir une nouvelle pièce pour répéter l'opération. Ce processus automatisé assure une grande précision, une répétabilité optimale et une productivité accrue dans le cadre d'une production en série.

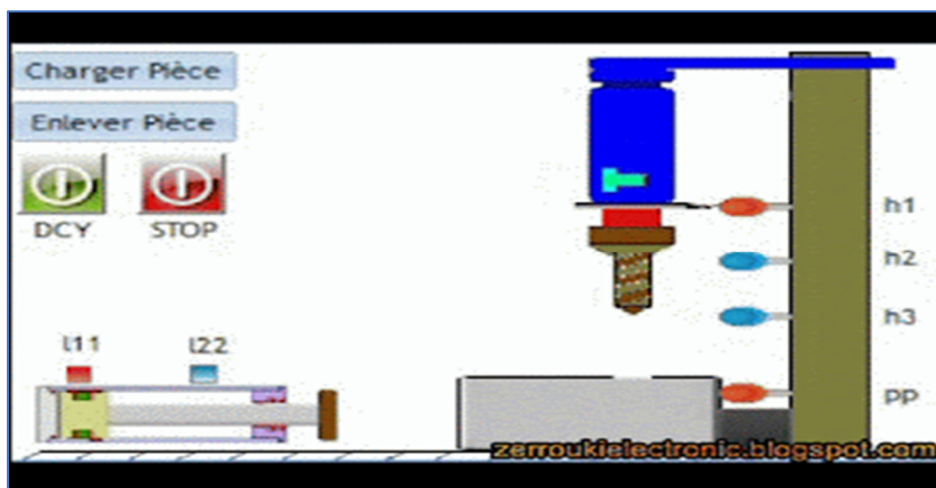


Figure 3.1 Schéma synoptique du système de perçage.

Le processus débute par une simple pression sur le bouton de démarrage "dcy", amorçant ainsi une séquence automatisée de haute précision. Dès l'activation de ce bouton, le vérin pneumatique V entre en action et s'étend progressivement jusqu'à atteindre le capteur de fin de course L22. À ce stade, la pièce est solidement maintenue en place, garantissant sa stabilité tout au long de l'opération.

Une fois la pièce correctement fixée, le foret amorce alors sa descente contrôlée grâce au moteur avant-arrière M1, s'approchant avec minutie du point de perçage. Lorsque le capteur h2 est atteint, cela déclenche la mise en marche du moteur M2, dédié spécifiquement à l'opération de perçage. Pendant ce temps, le moteur M1 poursuit sa course descendante jusqu'à ce que le capteur h3 soit atteint.

À cet instant, le moteur M1 inverse son mouvement : il amorce une remontée soignée jusqu'au capteur h1, marquant ainsi la fin de la phase active du forage. Une fois cette position atteinte, les deux moteurs M1 et M2 cessent simultanément leur fonctionnement.

Enfin, la dernière étape du cycle est enclenchée : la pièce est libérée avec précision lorsque le poussoir atteint le capteur L11, signifiant la fin complète du processus. Ce déroulement harmonieux, alliant coordination mécanique et commande électronique, illustre parfaitement la rigueur et l'efficacité d'un système automatisé bien conçu.

Le capteur, également appelé senseur, est un composant électronique essentiel dans de nombreux systèmes modernes. Il s'agit d'une puce ou d'un dispositif sensible conçu pour détecter et réagir à des stimuli physiques provenant de son environnement immédiat. Ce composant joue un rôle fondamental dans la collecte d'informations sur le monde physique, qu'il transforme ensuite en signaux exploitables par des systèmes électroniques, informatiques ou mécaniques.

Chaque capteur est conçu pour remplir une fonction bien spécifique. Il est programmé ou calibré pour détecter un certain type de stimulus physique ou chimique, et il est sensible à des changements précis dans son environnement. Parmi les stimuli auxquels les capteurs peuvent réagir, on retrouve une grande variété de phénomènes, notamment la lumière (capteurs optiques ou photodétecteurs), le son (capteurs acoustiques ou microphones), les mouvements (accéléromètres ou gyroscopes), la pression (capteurs barométriques ou piézoélectriques), la température (thermistances ou thermocouples), ainsi que d'autres facteurs comme l'humidité, les champs magnétiques, la présence de gaz, ou encore des niveaux de radiation.

Lorsqu'un stimulus particulier est détecté, le capteur réagit généralement en produisant un signal électrique proportionnel à l'intensité ou à la variation du phénomène observé. Ce signal peut ensuite être traité, analysé ou affiché par un système informatique ou un microcontrôleur. Les capteurs sont ainsi des éléments essentiels dans les technologies modernes, que ce soit dans l'automobile (détection de collision, mesure de vitesse, contrôle de température), les téléphones intelligents (orientation de l'écran, reconnaissance de mouvement), la domotique (détection de

présence, mesure de la qualité de l'air), l'industrie (automatisation, surveillance des processus), ou encore dans les domaines médicaux (capteurs biométriques, surveillance des signes vitaux).

En somme, le capteur est un élément clé dans l'interface entre le monde physique et les systèmes électroniques, permettant de créer des dispositifs intelligents capables de percevoir, comprendre et interagir avec leur environnement de manière autonome ou assistée.

2.2. Grafset du système automatisé

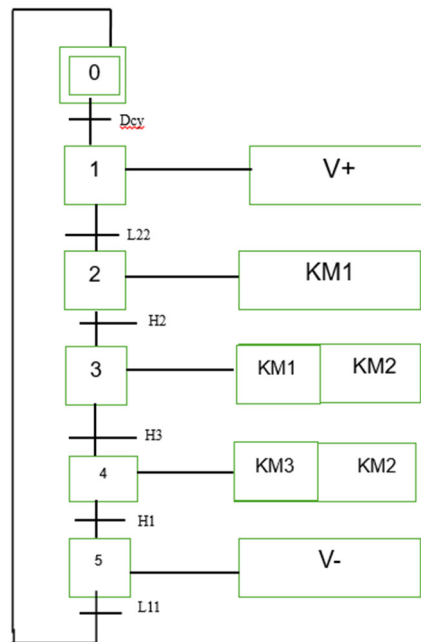


Figure 3.2 : GRAFCET point de vue partie commande du poste de perçage.

2.3 Choix technologie des différents éléments des systèmes :

2.3.1 capteurs :

Les capteurs servent à identifier des positions ou des conditions du système (qui sont généralement de nature mécanique ou électrique), et ils régulent les transitions.

Tableau 1 Références des capteurs et leurs fonctions dans le processus de commande

Référence	Nom	Type de capteur	Role/fonction
Dcy	départ de cycle	Bouton poussoir	Enclenche le départ de cycle
L22	Capteur de position L22	Fin de course	Indique que la position permettant d'activer KM1 est atteinte

H1/H2/H3	Capteur de position	Capteurs inductifs ou mécanique	Déclenchent les transitions entre les étapes
L11	Capteur de fin cycle	Capteur de position	Fin de course du retour, pour revenir à l'étape 0

2 .3.2 Préactionneurs :

Les Préactionneurs, qui sont couramment des relais ou des contacteurs, ont pour fonction de contrôler les actionneurs de puissance.

Tableau 2 Désignation des contacteurs et distributeurs avec leurs fonctions

référence	désignation	type	Fonction
KM1	contacteur	Relais/contacteur	Commande d'un mouvement direct de M1
KM2	contacteur	Relais/contacteur	Commande de perçage
KM3	contacteur	Relais/contacteur	Commande d'un mouvement inverse de M1
V+ ; V-	Distributeur 4/2 ou 5/2 bistable commande électrique		Commande le vérin V

2 .3.3 Actionneurs :

Les actionneurs réalisent le mouvement physique.

Tableau 3 Composants moteurs et vérins utilisés dans le système

référence	désignation	type	Fonction
V	Vérin double effet (sortie)	Vérin pneumatique	Mouvement de sortie de vérin
M1 et M2	M1 : Rotation de l'outil. M2 : Monte/descente de l'outil de perçage	Moteurs asynchrone triphasés	

3. Conception et réalisation de la carte

3.1 Schémas bloques de la carte.

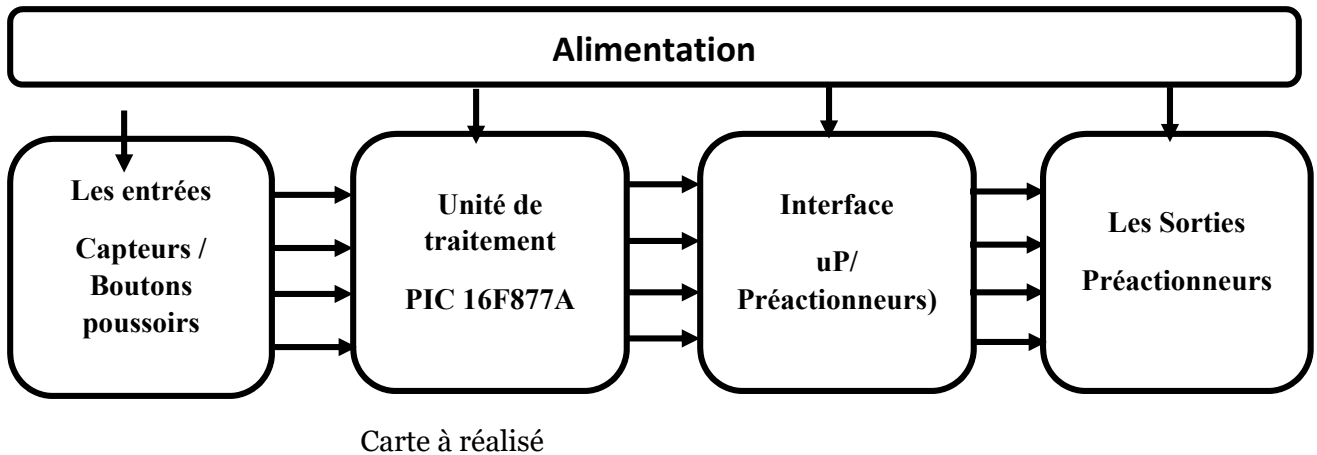


Figure 3.3 : Schémas bloques de la carte à base de up16F877A

3.2. Les Capteurs

Capteur de fin de cycle

Un capteur de fin de cycle, aussi appelé détecteur de position ou interrupteur de position mécanique, est un dispositif utilisé pour détecter la présence ou l'absence d'un objet ou pour contrôler et indiquer si les limites de mouvement de cet objet ont été dépassées. Il s'agit d'un capteur de contact qui fonctionne comme un interrupteur, ouvert ou fermé, et qui est actionné par un mouvement mécanique.

Principe de fonctionnement

Le fonctionnement d'un capteur de fin de cycle repose sur un contact direct entre un objet et l'actionneur du capteur. Lorsqu'un objet entre en contact avec l'actionneur (levier ou galet), les contacts électriques du capteur changent d'état. Si le contact est normalement ouvert (NO), il se ferme pour laisser passer le courant électrique. Si le contact est normalement fermé (NF), il s'ouvre pour interrompre le courant.

Les capteurs de fin de cycle sont constitués de trois éléments principaux:

- Une tête d'actionneur qui assure le contact direct avec l'objet.
- Un boîtier métallique ou en plastique qui contient le système de commutation du capteur.
- Une embase ou les bornes de connexion du capteur avec le dispositif.

Types de capteurs de fin de cycle

Il existe différents types d'interrupteurs de fin de course, notamment ceux actionnés par un "whisker", qui utilisent un fil métallique fin pour détecter la position d'objets par contact physique. Ils sont utilisés dans l'automatisation industrielle, la robotique et les mécanismes de sécurité

Applications

Les capteurs de fin de cycle sont utilisés dans de nombreuses applications industrielles pour

- Connaitre la position d'un vérin (début et fin).
- Détecter la position d'une porte (ouverte ou fermée).
- Localiser la position d'un ascenseur (étage).
- Identifier la position d'une barrière automatique (ouverte ou fermée).
- Machines-outils.
- Machines d'assemblage.
- Robots.



Figure 3.4 capteur fin de cycle

Lors de l'installation du système automatisé, nous avons constaté que le capteur de fin de cycle prévu initialement était manquant ou indisponible. Afin de poursuivre les tests et la mise en service sans retard, nous avons remplacé temporairement ce capteur par un **bouton-poussoir**,

qui permet de simuler manuellement la fin du cycle pour valider le fonctionnement du programme automate.

3.3. Interface up/ Préactionneurs

- Relais statique

Le circuit de relais statique est composé d'un élément semi-conducteur, typiquement un transistor, et d'un relais électromagnétique. Sa fonction principale est de permettre l'adaptation des sorties de μP avec les Préactionneurs, agissant ainsi comme une interface d'adaptation.[13]

Pour la conception de la carte, un transistor MOSFET IRF 530 ainsi qu'un relais électromagnétique de 24V ont été mis en parallèle avec une diode 1N407, laquelle assure le rôle de roue libre. Le schéma électrique de ce relais statique est représenté à la figure 3.5.

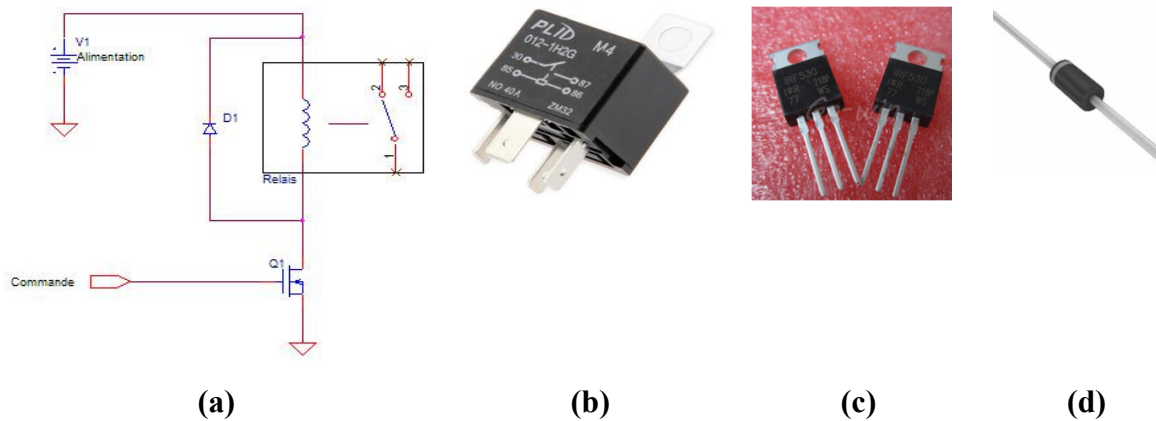


Figure 3.5 : (a) Schéma électrique du relais statique (b) relais, (c) Transistor MOSFET, (d) diode.

Pour notre projet, nous envisageons d'utiliser un relais de type JQC-3FF, un composant électromécanique fiable et largement utilisé dans les circuits de commande. Ce relais est particulièrement adapté à notre application grâce à ses caractéristiques techniques intéressantes, notamment :



Figure 3 .6 Relais de type JQC-3FF

Tableau 4 Caractéristiques techniques du relais JQC-3FF

Caractéristique	Valeur
Modèle	JQC-3FF
Tension de la bobine (coil)	24V DC (courant continu)
Courant max (AC)	10A sous 277V AC
Courant max (DC)	12A sous 125V DC
Type de relais	Relais électromécanique (SPDT ou SPST)
Pays de fabrication	Chine
Code de série	T73-C
Certifications	UL, CQC, etc.

Voici les caractéristiques techniques du transistor de type MOSFET IRF530, un composant largement utilisé dans les applications de gestion de puissance et de commutation en raison de ses performances fiables et de sa capacité à supporter des courants et des tensions relativement élevés :

Tableau 5 Caractéristiques techniques du transistor MOSFET canal N

Caractéristique	Valeur
Type de transistor	MOSFET - Canal N
Tension maximale drain-source (VDS)	100V
Courant de drain maximal (ID)	14A (à 25°C)
Puissance de dissipation	69W
Résistance à l'état passant RDS(on)	Environ 0,160 ohm
Tension de seuil de la grille (VGS(th))	De 2,0 à 4,0 V
Temps de commutation (Switching Time)	Allumage ~60ns / Extinction ~60ns
Boîtier (Package)	TO-220
Température de fonctionnement	De -55°C à +175°C

Cependant, dans le cadre de notre projet, nous avons choisi d'utiliser une diode de type 1N4007, qui est bien connue pour sa fiabilité et sa robustesse dans les circuits redresseurs. Cette diode a les caractéristiques techniques suivantes :

Tableau 6 Caractéristiques techniques de la diode de redressement

Caractéristique	Valeur
Type de diode	Diode de redressement (Rectifier Diode)
Tension inverse répétitive maximale (VRRM)	1000 V
Tension inverse continue maximale (VR)	700 V (tension d'utilisation recommandée)
Courant direct moyen (IF(AV))	1 A à 75°C
Courant de surtension non répétitif (IFSM)	30 A (durée de 8,3 ms, demi-onde)
Chute de tension directe typique (VF)	0,7 à 1,1 V à 1 A
Courant de fuite inverse (IR)	5 µA à 25°C / 50 µA à 100°C
Plage de température de fonctionnement / stockage	-65°C à +150°C

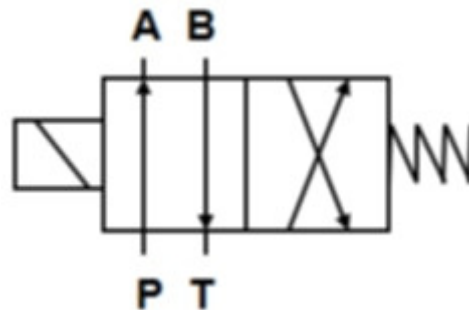
Boîtier (Package)	DO-41
Longueur du boîtier	4,6 à 5,2 mm
Diamètre du boîtier	2,4 à 2,7 mm
Diamètre des fils (pattes)	0,7 à 0,9 mm
Poids approximatif	Environ 0,4 g

3.4. Préactionneurs

- **Distributeur 4/2**

Un distributeur 4/2 est une vanne pneumatique ou hydraulique comportant quatre orifices et deux positions. Il est spécialement conçu pour commander un vérin double effet.

- Les quatre orifices sont :
 - Orifice 1 : arrivée d'air sous pression (P)
 - Orifices 2 et 4 : sorties vers les deux chambres du vérin (A et B)
 - Orifice 3 : échappement (évacuation de l'air)
- Les deux positions correspondent à deux états possibles du distributeur, qui permettent d'alimenter alternativement chaque chambre du vérin en air sous pression tout en évacuant l'air de l'autre côté, ce qui provoque le déplacement du vérin dans un sens ou dans l'autre.
- Le vérin double effet nécessite une alimentation alternée des deux chambres pour assurer les mouvements aller et retour.
- Le distributeur 4/2 permet cette alternance grâce à ses quatre orifices et deux positions.
- La commande du distributeur peut être manuelle, pneumatique ou électrique.
- Ce système est très utilisé en pneumatique et hydraulique pour piloter des actionneurs linéaires dans l'industrie.



- **Figure 3.6** distributeur 4/2

3.5 Programmation du microprocesseur PIC16F877A avec MPLAB :

a-MPLAB :

La société Microchip Technology a créé l'environnement de développement intégré (IDE) connu sous le nom de MPLAB. Il est spécifiquement conçu pour faciliter la programmation, la compilation, le débogage et la simulation des PIC de Microchip.

Cet outil puissant permet aux développeurs d'écrire du code en C ou en assembleur, d'utiliser des compilateurs comme XC8, XC16 ou XC32, et de le tester directement sur une simulation ou une carte réelle en utilisant des débogueurs de programmeurs comme PICKit ou ICD.[14]

Des étapes pour programmer avec MPLAB IDE :

Ouvrir MPLAB IDE

Lancer le logiciel MPLAB IDE sur l'ordinateur.

Créer un nouveau projet

- Aller dans Project > Project Wizard
- Sélectionner le microcontrôleur utilisé (PIC16F877A)
- Choisir l'outil de développement (Assembleur)
- Spécifier le répertoire de sauvegarde et nom du projet
- Ajouter les fichiers source (.asm)

Écrire le code

- Créer un fichier source : File > New
- Écrire notre code en Assembleur
- Enregistrer le fichier (.asm)

Ajouter le fichier au projet

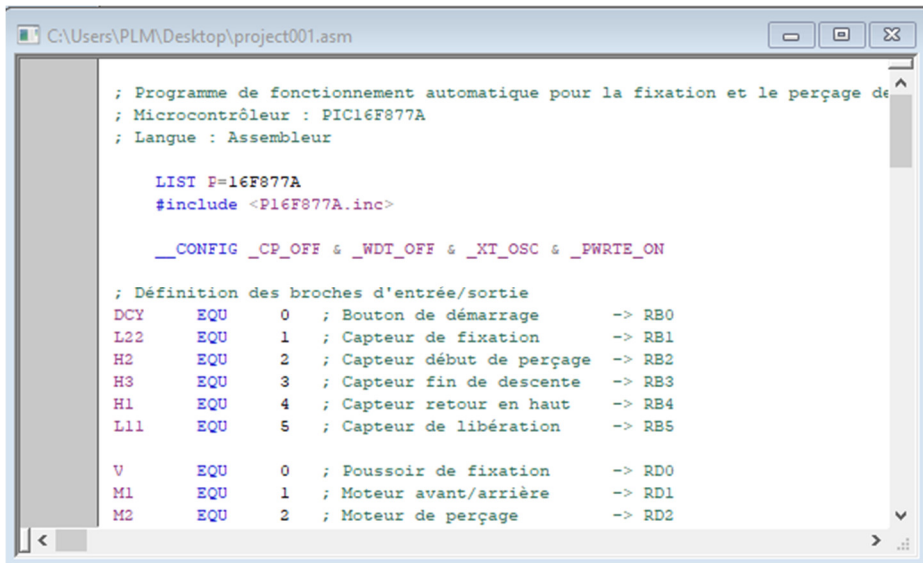
- Dans l'onglet Project, clic droit > Add Files to Project
- Sélectionner notre fichier source

Assembler ou Compiler

- Cliquer sur Project > Build All
- Vérifier s'il y a des erreurs dans la fenêtre de messages

Simuler (optionnel)

- Aller dans Debugger > Select Tool > MPLAB SIM
- Lancer la simulation : Debugger > Run



```
C:\Users\PLM\Desktop\project001.asm

; Programme de fonctionnement automatique pour la fixation et le perçage de
; Microcontrôleur : PIC16F877A
; Langue : Assembleur

LIST P=16F877A
#include <P16F877A.inc>

__CONFIG _CP_OFF & _WDT_OFF & _XT_OSC & _PWRTE_ON

; Définition des broches d'entrée/sortie
DCY EQU 0 ; Bouton de démarrage -> RB0
L22 EQU 1 ; Capteur de fixation -> RB1
H2 EQU 2 ; Capteur début de perçage -> RB2
H3 EQU 3 ; Capteur fin de descente -> RB3
H1 EQU 4 ; Capteur retour en haut -> RB4
L11 EQU 5 ; Capteur de libération -> RB5

V EQU 0 ; Poussoir de fixation -> RD0
M1 EQU 1 ; Moteur avant/arrière -> RD1
M2 EQU 2 ; Moteur de perçage -> RD2
```

Figure 3 .7 Programmation sur MPLAB

3. 6 Le kit K150 programmeur de pic :

Programmeur USB automatique pour microcontrôleurs PIC – K150 ICSP

Le programmeur K150 prend en charge la programmation, la lecture, le cryptage et d'autres fonctionnalités pour la plupart des puces PIC les plus populaires.[15]

Il ne nécessite aucune alimentation externe : la communication et l'alimentation s'effectuent uniquement via un câble USB, permettant un fonctionnement complet sans câblage supplémentaire.

Il est beaucoup plus rapide que le PICSTARTPLUS pour la programmation. Il peut lire facilement le contenu de la zone de programme de la puce et effectuer une vérification automatique après la programmation.

Des messages d'information détaillés accompagnent l'utilisateur afin de l'aider à comprendre l'état de fonctionnement.

Grâce à un support ZIF à 40 broches, il est possible de programmer directement des microcontrôleurs PIC de 8 à 40 broches. La programmation peut également s'effectuer en ligne via ICSP ou à l'aide d'adaptateurs de conversion.

Les puces externes à 8–40 broches peuvent être téléchargées directement via la sortie ICSP.[16]

Le programmeur est compatible avec Windows 98, Windows 2000/NT, Windows XP, Windows 7 et d'autres systèmes d'exploitation.

Le logiciel de programmation fourni est simple et intuitif, avec des instructions claires et faciles à utiliser.

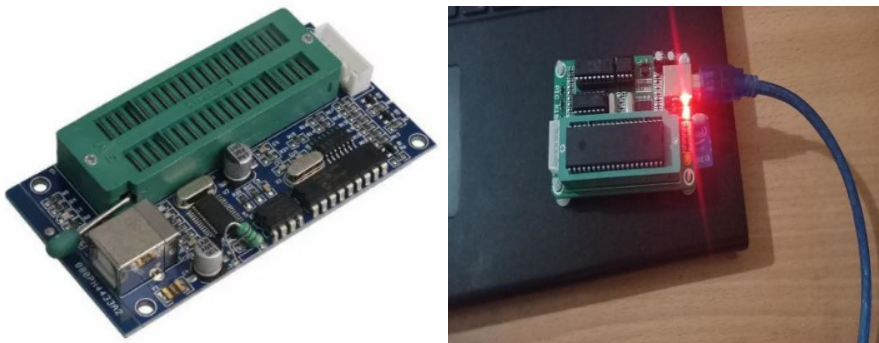


Figure 3 .8 Programmeurs PIC

➤ **Convertir un fichier .HEX de MPLAB en le pic16F877A :**

Après avoir terminé l'écriture du programme dans MPLAB et généré le fichier .hex, nous avons poursuivi le processus de transfert vers le microcontrôleur PIC16F877A.

Pour cela, nous avons utilisé un programmeur externe, le K150, ainsi que le logiciel de programmation PL2023 (également connu sous le nom de "K150 Programmer Software"). Une fois le logiciel installé, nous avons sélectionné la puce PIC16F877A dans la liste des microcontrôleurs pris en charge, puis nous avons chargé le fichier .hex généré à partir de MPLAB. Ensuite, nous avons connecté le programmeur à l'ordinateur via un port USB, inséré le microcontrôleur dans le support (ZIF socket), et lancé l'opération de programmation. Le logiciel a alors transféré le contenu du fichier .hex vers la mémoire du microcontrôleur.

Cette étape permet d'intégrer le programme que nous avons développé dans la puce pour qu'elle puisse exécuter les instructions codées. [17]

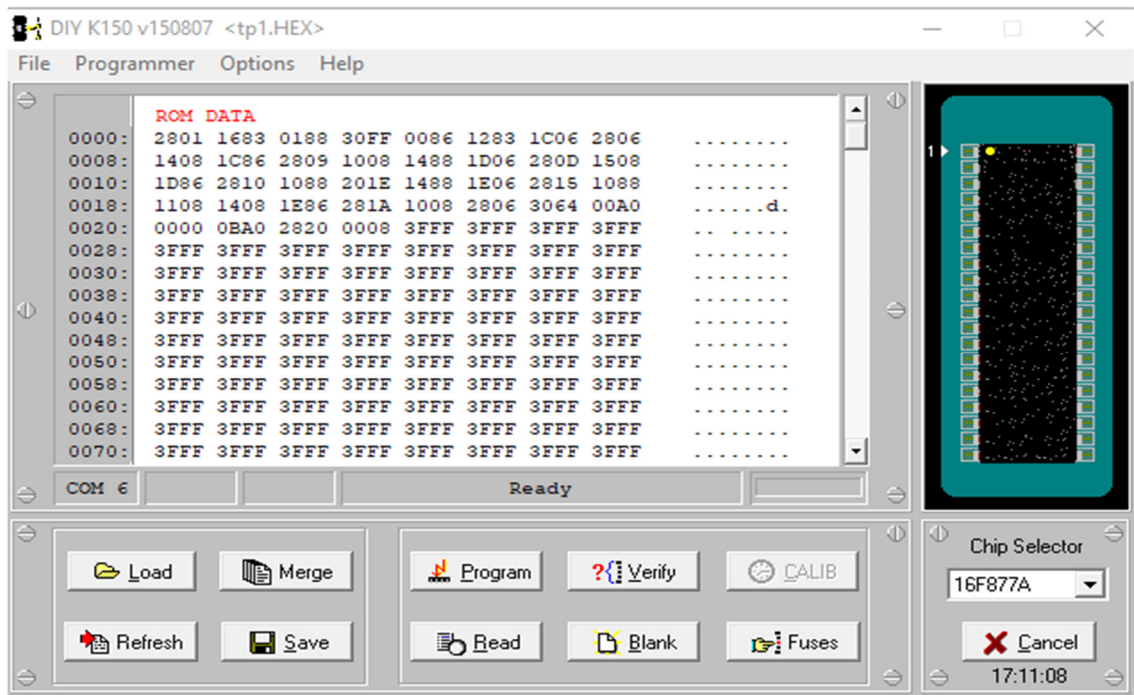


Figure 3.9 Programme de pic sur PL2023

3.7 Prototypage de Carte électronique



Figure 3.10 prototype de Carte électronique à base de microcontrôleur

La figure présente une carte électronique réalisée sur une plaque d'essai, intégrant un microcontrôleur (probablement un PIC16F877A), cinq relais électromécaniques pour la commutation de charges, ainsi que plusieurs boutons poussoirs de différentes couleurs servant

d'entrées de commande. Cette carte permet le contrôle de dispositifs externes via les relais, sous la gestion du microcontrôleur

4. Conclusion :

À l'issue de cette manipulation, nous avons pu mettre en œuvre l'ensemble du processus de programmation d'un microcontrôleur PIC16F877A, en combinant des outils logiciels et matériels complémentaires. Nous avons d'abord développé et compilé notre code dans l'environnement MPLAB, ce qui nous a permis de générer un fichier .hex contenant les instructions à exécuter. Ensuite, nous avons utilisé le logiciel PL2023 (associé au programmeur K150) pour transférer ce fichier dans la mémoire du microcontrôleur. Cette opération nous a offert une vision claire et concrète des différentes étapes nécessaires à la mise en service d'un microcontrôleur dans une application embarquée. Elle nous a permis de mieux comprendre la communication entre l'environnement de développement et le matériel, ainsi que les exigences techniques liées à chaque étape : choix du bon modèle de puce, configuration du port de communication (COM), connexion correcte du microcontrôleur dans le support ZIF, et gestion des éventuelles erreurs lors du transfert. Ce travail nous a également sensibilisés à l'importance d'une bonne rigueur dans la manipulation des outils de programmation et dans la vérification des paramètres techniques. En somme, cette expérience constitue une base fondamentale dans notre apprentissage des **systèmes embarqués** , et nous prépare efficacement à la réalisation de projets électroniques plus complexes, où la maîtrise du processus de programmation est essentielle.

CONCLUSION

Conclusion

Conclusion :

À l'issue de ce travail, nous pouvons affirmer que la réalisation d'un système automatisé basé sur un microcontrôleur tel que le PIC16F877A pour la commande d'un poste de perçage constitue une application concrète, efficace et formatrice de l'automatisation industrielle moderne. Ce projet nous a permis de mettre en œuvre les connaissances théoriques acquises durant notre formation, tout en les confrontant aux réalités de la conception, de l'intégration électronique et de la programmation embarquée.

Dans un premier temps, l'étude nous a conduit à explorer les fondements de l'automatisation industrielle, ses composants de base (capteurs, actionneurs, préactionneurs, interfaces de commande), et son importance dans le contexte actuel de l'Industrie 4.0. Cette approche globale nous a permis de mieux comprendre le rôle de chaque élément dans le fonctionnement d'un système automatisé, ainsi que les interactions dynamiques qui en assurent la cohérence.

Par la suite, nous avons approfondi l'architecture et les spécificités techniques du microcontrôleur PIC16F877A, qui s'est révélé être un outil particulièrement adapté à notre projet, grâce à sa richesse fonctionnelle, sa flexibilité de programmation et son adaptabilité aux exigences industrielles. L'étude de ses registres, ports, modules intégrés (ADC, Timers, PWM, UART, etc.), ainsi que sa méthode de programmation via l'environnement MPLAB IDE, nous ont fourni les bases solides nécessaires pour développer une application embarquée fiable et fonctionnelle.

La phase de conception pratique du système — incluant la réalisation de la carte électronique, le choix des composants (relais, transistors, capteurs de fin de course, vérins, etc.), la rédaction du GRAFCET, et l'écriture du code — a constitué le cœur de notre démarche. Cette étape a exigé rigueur, réflexion logique, et capacité à anticiper les erreurs possibles liées au comportement dynamique du système. Elle nous a aussi appris à gérer les aléas techniques, comme le remplacement temporaire d'un capteur par un bouton poussoir pour permettre les tests sans compromettre la suite du développement.

Le résultat final est un système capable de gérer de manière autonome et séquentielle toutes les étapes du processus de perçage : détection de la pièce, mise en place, descente du foret, perçage, remontée, libération de la pièce, et retour en position initiale. Ce cycle est commandé entièrement par le microcontrôleur, en interaction avec les capteurs et les actionneurs, selon un enchaînement logique bien défini.

Conclusion

Ce projet nous a permis de développer des compétences techniques précieuses, allant de la programmation embarquée à la lecture de schémas électroniques, en passant par l'analyse fonctionnelle, la conception logicielle, et le câblage matériel. Mais au-delà des aspects purement techniques, il nous a aussi appris à travailler méthodiquement, à documenter chaque étape, et à faire preuve d'adaptabilité face aux imprévus.

Enfin, ce travail constitue une base solide pour de futures évolutions. Il serait possible, par exemple, d'ajouter une interface homme-machine (IHM) pour un meilleur suivi du processus, d'intégrer des capteurs intelligents pour améliorer la précision, ou encore de migrer vers des microcontrôleurs plus performants comme les dsPIC ou des plateformes à architecture ARM Cortex, pour des besoins plus complexes.

En somme, ce projet illustre parfaitement la manière dont les technologies numériques, lorsqu'elles sont bien maîtrisées, peuvent transformer des opérations industrielles classiques en systèmes intelligents, flexibles et performants. Il constitue à la fois une preuve de concept réussie et une étape formatrice importante dans notre parcours vers l'ingénierie industrielle moderne.

Références

- [1]. Lairgi, L. (n.d.). *Cours d'automatisme industriel* [Polycopié].
- [2]. IP Systèmes. (n.d.). *L'automation industrielle: Définition, application et solution*. <https://www.ip-systemes.com/lautomation-industrielle-definition-application-solution.html>
- [3]. https://sc-st.univ-batna2.dz/sites/default/files/sc_st/files/archi._des_systemes_automatises.pdf
- [4]. <http://dlibrary.univ-boumerdes.dz:8080/bitstream/123456789/8681/1/FinalReport.pdf>
- [5]. https://omnifab.ca/automatisation-industrielle-c-est-quoi/#elementor-toc__heading-anchor-1
- [6]. Zakset, R., & Wolfe, A. (1988). *Du composant au système: Introduction aux microprocesseurs*. Sybex.
- [7]. Université de Boumerdes. (n.d.). *Final Report – Microcontrôleur PIC*. <http://dlibrary.univ-boumerdes.dz:8080/bitstream/123456789/8681/1/FinalReport.pdf>
- [8]. Tavernier, C. (2005). *Programmation en C des PIC*. Dunod.
- [9]. Tavernier, C. (2005). *Les microcontrôleurs PIC – Recueil d'applications*. Dunod.
- [10]. Université de Boumerdes. (n.d.). *Final Report – Microcontrôleur PIC*. <http://dlibrary.univ-boumerdes.dz:8080/bitstream/123456789/8681/1/FinalReport.pdf>
- [11]. Bernard, J.-M., & Hugon, J. (1984). *De la logique câblée aux microprocesseurs – Tome 3: Méthodes de conception de systèmes*. Éditions Eyrolles.
- [12]. Université de Batna 2. (n.d.). *Architecture des systèmes automatisés*. https://sc-st.univ-batna2.dz/sites/default/files/sc_st/files/archi._des_systemes_automatises.pdf
- [13]. Électronique Radioamateur. (n.d.). *Commande de relais*. <https://www.electronique-radioamateur.fr/elec/schema/commande-relais.php>
- [14]. Bigonoff. (n.d.). *La gamme MID-RANGE par l'étude des 16F87X*. <http://www.bcelectronique.com/bigonoff/>
- [15]. Microchip Technology Inc. (1999). *Datasheet PIC16F87X*. <https://www.microchip.com>
- [16]. CCS Info. (n.d.). *Compilateur C pour PIC (PCWH)*. <http://www.ccsinfo.com/>
- [17]. Letenneur, P. (2003). *Langage C (CCS Info pour les PICs)*.