



Université El-Moudjahed BOUSSOUF Abdelhafid –Mila-

Institut des Sciences et Technologie

Département de Génie Mécanique et Électromécanique

N°Ref :

**Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme
de MASTER**

Spécialité Électromécanique

**Conception et prototypage d'une machine de
remplissage du miel**

Réalisé par :

**-Zetili Meryem
-Djimli Fatima Zahra
-Sifi Salah Eddine`**

Soutenu devant le jury :

**Dr. B. Smaani
Dr. H. Bouchnitfa
Dr.R.Bouhannache
Dr.S.Raslaine**

**Promoteur
Co-promoteur
Examineur
Président**

Année universitaire : 2025/2026

Remerciements

Avant toute

*On remercie Dieu le tout puissant de nous avoir donné le
Courage, la patience et la force durant toutes ces années
D'études. Dieu ALLAH, dont tous les mérites lui en
Reviennent.*

Ensuite

*Nous désirons exprimer nos sincères remerciements à la
Personne qui revient le mérite de cette idée, notre encadreur
Dr Smaani et Bouchnitfa pour son soutien, sa
Gentillesse, ses encouragements, ses conseils et sa patience
Pendant la période de la réalisation de ce travail.
Nos remerciements vont aussi aux enseignants du
Département de génie mécanique et électromécanique de la
Spécialité Electromécanique qui ont contribué à notre
Formation.*

Aussi

*Nous tenons à remercier tous les membres de jury qui ont fait L'honneur
d'avoir accepté de d'évaluer ce travail.*

À mon père, qu'Allah lui fasse miséricorde,

Dédicace

À mon cher père, qu'Allah lui fasse miséricorde,

Tu resteras à jamais ma plus grande source d'inspiration. Qu'Allah t'accueille dans Son vaste Paradis.

*À ma chère mère **Fatima**,*

Pour ton amour, ta patience, tes sacrifices et tes prières. Ce travail est le fruit de ton soutien indéfectible. Qu'Allah te protège et t'accorde une longue vie.

*À mes frères **Rachid, Yazid et Moussa**, ainsi qu'à mes sœurs **Djahida, Fouzia et Hakima**,*

Merci pour votre amour, votre soutien et votre présence tout au long de mon parcours.

*À mes amies **Samah, Khadidja, Ikram, Kawthar, Mounia et Abir**,*

Merci pour votre sincère amitié et votre soutien constant.

*À mon cousin **Adnane**,*

Merci pour ton soutien, ton encouragement et ton aide tout au long de mon parcours universitaire.

À mes encadrants

Je vous adresse mes sincères remerciements pour vos conseils, votre accompagnement et votre précieuse orientation dans la réalisation de ce travail.

*À mes collègues de travail **Salah et Fatima Zahra**,*

Merci pour votre soutien et vos encouragements.

*À mon enseignante Mme **Boukaf Samira**,*

Je vous adresse mes sincères remerciements pour votre accompagnement, vos précieux conseils et votre soutien tout au long de ce travail.

Enfin, à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, je dédie ce modeste mémoire avec toute ma reconnaissance et ma gratitude.

Zetili Meryem

Dédicace

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU de m'avoir donné la force, le courage et la patience de mener à bien ce modeste travail.

Je dédie ce travail :

À moi-même

À la persévérance que j'ai su préserver, à la discipline que j'ai cultivée et aux efforts que j'ai choisi de ne jamais abandonner.

Aux jours de doute où j'ai continué malgré tout, et aux moments difficiles que j'ai transformés en force, en maturité et en expérience. Je me le dédie avec gratitude, fierté et respect. Et parce qu'aucun chemin ne se construit seul...

*À ma mère, **Hassina***

Merci pour ton amour, ta patience et ton soutien inconditionnel. Tu as toujours été ma source de force et de motivation.

*À mon père, **Mourad***

Merci pour tes conseils, tes sacrifices et les valeurs que tu m'as transmises. Ton soutien a été essentiel à ma réussite.

*À mes sœurs, **Chaïma, Khouloud et Hiba***

Merci pour votre amour, votre soutien et vos encouragements. Votre présence à mes côtés a toujours été une source de bonheur et de confiance.

*À mes frères, **Azzam, Sayaf, Yasser et Ammar***

Merci pour votre affection, votre soutien et votre confiance. Je suis fière de vous avoir à mes côtés.

*À mes amis proches, **Anfal, Rayane, Amani et Qamar***

Merci pour votre amitié sincère, votre écoute et vos encouragements durant les moments difficiles.

À mes binômes

Merci pour votre collaboration, votre sérieux et les efforts partagés tout au long de ce travail.

À nos encadrants

Merci pour votre disponibilité, vos précieux conseils et votre accompagnement durant la réalisation de ce mémoire.

À toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail.

Djimli Fatima Zahra

Dédicace

À ma famille

À mes chers parents, aucune dédicace ne saurait exprimer mon éternelle gratitude pour votre amour inconditionnel, vos sacrifices et votre soutien indéfectible tout au long de mon parcours universitaire. Que ce travail soit le reflet de votre éducation et de votre dévouement.

À mes frères et sœurs, pour votre présence, vos encouragements continuels et la joie que vous apportez à ma vie.

À mon binôme de travail à l'hôpital

À ma collègue et binôme de travail, Samah, En témoignage de notre excellente collaboration, de ta rigueur et de ton soutien au quotidien au sein de l'hôpital. Merci pour ton professionnalisme, ton esprit d'équipe et d'avoir partagé les exigences et les défis du terrain, me permettant ainsi de concilier au mieux mes obligations professionnelles et académiques.

À mes binômes de mémoire

À mes précieux binômes de mémoire, Avec qui j'ai partagé la réalisation de ce projet de fin d'études. Merci pour votre engagement, votre sérieux, nos nuits blanches et les efforts collectifs qui ont rendu ce travail possible. Que cette étape soit le prélude d'un brillant avenir pour chacun de nous.

À mes amis proches

À mes fidèles amis : Haroun, Islam, Mohamed, Sarri, et Dhyeddine, Pour votre amitié sincère, votre soutien moral constant et les moments inoubliables partagés ensemble. Merci d'avoir toujours été là pour m'encourager, me motiver et relâcher la pression durant les moments les plus intenses de ce cursus. À notre fraternité et à nos futurs succès.

À mes encadrants

À mes honorables encadrants, Pour votre disponibilité, votre patience et la rigueur scientifique que vous m'avez transmise. Vos précieux conseils et vos orientations ont été le fil conducteur de la réussite de ce projet. Veuillez trouver ici l'expression de mon profond respect et de ma haute considération.

Sifi Salah Eddine

Nomenclature :

API :Automate Programmable Industriel

PLC :Programmable Logic Controller

CDCF :Cahier des Charges Fonctionnel

LCD :Liquid Crystal Display

OLED :Organic Light Emitting Diode

HX711 :Module amplificateur pour capteur de charge

MPP :Moteur Pas à Pas

PIC :Peripheral Interface Controller

IR :Infrarouge

IoT :Internet of Things

EF :Exigence Fonctionnelle

EC :Exigence de Contrainte

FS :Fonction de Service

FC :Fonction Contrainte

CdCF :Cahier des Charges Fonctionnel

Pf :Le poids de référence

Pm : Le poids mesurée

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicace

Nomenclature

Table des matières

Liste de figures

Liste des tableaux

Annexes

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur les machines de remplissage.....	3
I.1.Introduction	4
I.2. L’histoire des machines de remplissage	5
I.3.Présentation générale de la machine de remplissage.....	6
I.3.1.Définition.....	6
I.3.2.Rôle industriel	7
I.4. Classification des machines de remplissage	7
I.4.1.Selon le degré d’automatisation	8
I.4.1.1.Les machines manuelles	8
I.4.1.2.Les machines semi-automatiques	9
I.4.1.3.Les machines automatiques.....	10
I.4.2.Selon le principe de dosage.....	12
I.4.2.1.Remplissage volumétrique	12
I.4.2.2.Remplissage pondéral (gravimétrique)	12
I.4.2.3.Remplissage par débit métrique	13
I.4.3.Selon la nature du produit	13
I.5.Spécificité du remplissage pour le miel	18
I.5.1.Objectif	18
I.5.2. Principales marques.....	18
I.6. Conclusion.....	25
Chapitre II : Analyse fonctionnelle	26
II.1. Introduction	28
II.2. Concept de l’analyse fonctionnelle.....	28

II.3. Expression du besoin.....	29
II.3.4. Formulation de la fonction principale.....	32
II.3.5. Importance dans la conception.....	32
II.4. Catégorie de l'analyse fonctionnelle.....	33
II.4.1. Analyse fonctionnelle externe.....	33
II.4.2 Analyse fonctionnelle interne	33
II.5. Environnement d'utilisation du produit.....	33
II.6. Le diagramme pieuvre.....	34
II.7. Application à la machine de remplissage de miel.....	35
II.8. Cahier des charges fonctionnelles du produit (CDCF).....	37
II.8.1.Objectifs du CdCF	38
II.8.2.Structure du CdCF	38
II .10.Cahier des charges de la machine de remplissage de miel	38
II.11. Conclusion	40
Chapitre III :LaTechnologie	41
III.1. Introduction	42
III.2. Principaux composants d'une machine de remplissage	43
III.2.1. Réservoir.....	43
III.2.2. Moteur	44
III.2.2.1.Moteur pas à pas.....	45
III.2.2.2. Moteur à courant continu	45
III.2.2.3.Moteur asynchrone	45
III.2.3.Commande du système	45
III.2.3.1.Microcontrôleurs	46
III.2.3.1.1.Automate programmable (PLC).....	46
III.2.3.1.2.PIC (Microchip Technology)	46
III.2.3.1.3.STM32 (ST Microelectronics)	47
III.2.3.2.Les capteurs	48
III.2.3.2.1.Capteur de charge.....	48
III.2.3.2.2.Capteur de niveau.....	49
III.2.3.2.3.Capteur infrarouge.....	50
III.2.3.3.Les afficheurs	51
III.2.3.3.1.Afficheur LCD	51
III.2.3.3.2.Afficheur 7 segments.....	52
III.2.3.3.3.Afficheur OLED 0.96 pouces	53

III. 3.Système de remplissage	54
III.3.1.Système pneumatique	54
III.3.1.Système électrique	55
III.4. Types de remplissage.....	56
III.4.1.Remplissage pondéral	57
III.4.2. Remplissage volumétrique.....	58
III.4.3.Remplissage débit métrique	59
III.5. Conclusion	60
Chapitre IV :Solution proposée et réalisation.....	61
IV.1.introduction	62
IV.2. Principe de fonctionnement	62
IV.3 .Architacture du système adopté	63
IV.4.partie commande	64
IV.4.1.Les composant choisis	64
IV.4.1.1. Carte Arduino méga	64
IV.4.1.2.Capteur de charge	65
IV.4.1.3.Afficheur LCD.....	67
IV.4.1.4.Moteur	68
IV.5.Partie mécanique	70
IV.5.1.Réservoir	70
IV.5.2 Châssis de la machine	71
IV.5.3Bras de commande.....	72
IV.5.3.La vanne de remplissage	73
IV.6.Système de remplissage.....	73
IV.6.1.Système électrique.....	73
IV.6.2.Type de remplissage	74
IV.6.2.1.Remplissage pondéral	75
IV.6.Shéma Proteus :.....	76
IV.7.Réalisation du modèle	77
IV.8.Conclusion	78
Conclusion générale	79
Bibliographie	82
Annex	88

Liste des Figures

Figure 1 : Développement de l'industrie durant les années.....	6
Figure 2 : Classification des machines de remplissage.	7
Figure 3 : Une machine manuelle.	9
Figure 4: Une machine semi-automatique.....	10
Figure 5: Une machine automatique.	12
Figure 6: Machine de remplissage de liquide à piston automatique [5].	13
Figure 7: Machine de remplissage de produits visqueux [18].	14
Figure 8: Machine de remplissage de la poudre.	16
Figure 9: Machine doseuse pour le conditionnement du miel.	19
Figure 10: Doseuse pompe à miel électronique.	20
Figure 11: Doseuse à miel polyvalente.....	21
Figure 12: Machine remplisseuse de miel entièrement automatique.	22
Figure 13: PESTOPACK – Machine entièrement automatique.....	23
Figure 14: Diagramme bête à cornes.....	30
Figure 15: Diagramme de pieuvre.	34
Figure 16: Diagramme bête à cornes pour la machine.	35
Figure 17: Diagramme de pieuvre pour la machine de remplissage.	36
Figure 18: D'ensemble des différents composants de la machine.....	43
Figure 19: Réservoir inox.....	44
Figure 20: Automate programmable Industriel.....	46
Figure 21: PIC (Microchip Technology)	47
Figure 22: STM32 (ST Microelectronics).....	48
Figure 23: Capteur de charge.	49
Figure 24: Capteur de niveau.	50
Figure 25: Un capteur infrarouge.....	50
Figure 26 : Exemple d'un afficheur LCD.....	52
Figure 27: Un afficheur 7 segments.	52
Figure 28 : Afficheur oled 0.96 pouces.	53
Figure 29 : Machine de remplissage pneumatique industrielle.	55
Figure 30 : Machine de remplissage électrique.	56
Figure 31: Remplisseuse Électronique Pondérale.....	58
Figure 32: Remplissage volumétrique.	59
Figure 33 : Composants et architecture du système adopté	63
Figure 34: Description de la carte Arduino MEGA 2560	65
Figure 35: Capteur de charge	65
Figure 36: Module HX711[78]	67
Figure 37 :MPP	69
Figure 38: ULN2003A.....	70
Figure 39 :Réservoir en 3d.....	71

Figure 40 :modèle 3D du châssis	71
Figure 41 : Un châssis.....	72
Figure 42 : Bras de commande	72
Figure 43 : Une vanne	73
Figure 44 : Schéma électrique sous Proteus	76
Figure 45 : Montage de la balance	76
Figure 46 : Prototype de modèle final.....	77

Liste des tableaux

Tableau 1: Un tableau comparatif (type de produit ↔ technologie de remplissage).	16
Tableau 2: Comparaison des machines de remplissage du miel.	23
Tableau 3: Des exigences fonctionnelles et contraintes.	30
Tableau 4 : Identification des fonctions de service.....	36
Tableau 5 : Les caractéristiques du capteur de charge.....	66
Tableau 6 : Caractéristique d’afficheur LCD	68

Introduction générale

L'automatisation et l'optimisation des procédés de conditionnement représentent aujourd'hui des piliers majeurs de la performance et de la compétitivité au sein de l'industrie agroalimentaire moderne. Dans un secteur en perpétuelle mutation, le passage des techniques manuelles vers des systèmes automatisés ne se contente pas d'augmenter radicalement les rythmes de production, il assure aussi une uniformisation stricte en matière de qualité, de sécurité alimentaire et de management des coûts. Dans cette dynamique, les machines de remplissage et de dosage jouent un rôle clé, étant essentielles pour garantir le transfert exact des matières premières vers leurs emballages finaux.

Toutefois, l'élaboration de ce type d'équipement pose d'importants défis d'ingénierie lorsque le produit concerné présente un comportement rhéologique complexe, tel que le miel. Le miel, doté d'une viscosité notablement haute, d'un caractère hygroscopique et d'une tendance marquée à la cristallisation en réponse à des variations thermiques, exige des contraintes dynamiques strictes et une supervision minutieuse du processus de distribution. Dans cette situation, les méthodes traditionnelles d'approvisionnement montrent vite leurs faiblesses, ce qui rend nécessaire la création d'un système de distribution qui peut gérer ces caractéristiques physiques tout en minimisant les risques d'erreurs humaines et de perte de cette matière première à haute valeur ajoutée.

Dans ce contexte, la problématique de ce projet peut être formulée comme suit :

Comment concevoir et réaliser un système de remplissage automatisé basé sur un contrôle par pesage, capable d'assurer un dosage précis et constant du miel dans chaque bouteille, tout en minimisant le gaspillage et en améliorant l'efficacité du processus de production ?

L'objectif principal de ce projet est de concevoir et de réaliser un système de remplissage de bouteilles de miel basé sur la mesure de masse, permettant d'assurer un dosage précis, stable et reproductible, tout en réduisant les pertes de produit et en améliorant la performance globale du processus de conditionnement.

Afin d'atteindre cet objectif principal, plusieurs objectifs spécifiques sont définis :

- Étudier les systèmes existants de remplissage utilisés dans l'industrie agroalimentaire et analyser leurs limites.

- Concevoir une architecture fonctionnelle d'un système de remplissage basé sur un contrôle par pesage.
- Choisir et intégrer les composants électroniques et mécaniques adaptés (capteur de poids, système de distribution, actionneurs, etc.).
- Développer un système de contrôle permettant d'assurer un dosage précis et automatique du produit.
- Assurer la fiabilité et la stabilité du système face aux variations des conditions de fonctionnement (viscosité, débit, etc.).
- Réduire le gaspillage de matière première en optimisant le processus de remplissage.
- Faciliter l'utilisation du système par un opérateur à travers une interface simple et intuitive.
- Valider les performances du système par des tests expérimentaux et des essais pratiques.

Afin de présenter de manière structurée les travaux réalisés dans ce projet, ce mémoire est organisé en cinq chapitres principaux.

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les machines de remplissage, incluant leur classification, leurs domaines d'application ainsi que leurs principales caractéristiques.

Le deuxième chapitre présente l'analyse fonctionnelle du système, permettant d'identifier les besoins, les contraintes et les exigences techniques nécessaires à la conception et à l'amélioration du système étudié.

Le troisième chapitre aborde les différentes technologies utilisées dans les machines de remplissage, notamment les capteurs, les actionneurs, les systèmes de contrôle ainsi que les dispositifs de commande et d'automatisation.

Le quatrième chapitre est dédié à la présentation des solutions techniques retenues ainsi qu'à la conception détaillée du système développé dans le cadre de ce projet.

Ce mémoire se termine par une conclusion générale qui synthétise les principaux résultats obtenus et met en évidence les perspectives d'amélioration et de développement futur de ce système.

Chapitre I : Généralités sur les machines de remplissage



I.1.Introduction

L'automatisation des procédés de conditionnement s'impose aujourd'hui comme un vecteur de performance incontournable au sein de l'industrie manufacturière moderne, et plus particulièrement dans le secteur agroalimentaire. Les machines de remplissage, au cœur de ces mutations technologiques, ont connu des évolutions successives, passant de processus rudimentaires et artisanaux à des architectures cyber-physiques hautement connectées, caractéristiques de l'Industrie 4.0. Dans le cadre du conditionnement des produits alimentaires, l'exactitude du dosage constitue un enjeu à la fois économique, réglementaire et qualitatif. Cet enjeu est d'autant plus complexe lorsqu'il s'agit de traiter des fluides non newtoniens à forte valeur ajoutée, à l'image du miel. En effet, les propriétés physico-chimiques singulières de cette substance, notamment sa viscosité élevée et sa propension naturelle à la cristallisation, imposent des contraintes matérielles et dynamiques strictes sur la conception des systèmes de distribution.

Afin de poser les bases théoriques et contextuelles indispensables à la conception et au prototypage de notre système de dosage automatisé, il est fondamental de dresser un panorama global des technologies de conditionnement existantes.

Dans ce chapitre, nous aborderons dans un premier temps l'évolution historique des machines de remplissage afin de comprendre comment les avancées de la mécanique et de l'électronique ont façonné les solutions contemporaines. Nous présenterons ensuite une définition générale de ces équipements ainsi que leur rôle prépondérant au sein des chaînes de production industrielles. Par la suite, une classification approfondie sera établie selon le degré d'automatisation (manuel, semi-automatique et automatique), le principe de dosage (volumétrique, gravimétrique et débitmétrique) et la nature physique des produits traités (liquides, visqueux ou poudres). Enfin, nous mettrons en exergue les spécificités techniques inhérentes au remplissage du miel à travers l'étude comparative des principales marques référentes sur le marché, permettant ainsi de justifier les choix technologiques de notre prototype.

I.2. L'histoire des machines de remplissage

L'histoire des machines de remplissage s'inscrit dans l'évolution globale de l'industrie manufacturière et des systèmes de production automatisés. Elle est étroitement corrélée aux avancées successives de la mécanique, de l'électricité, puis de l'électronique et de l'informatique industrielle [4], [5].

Durant la période préindustrielle, les opérations de remplissage des contenants (bouteilles, flacons, sacs) étaient effectuées manuellement. Cette approche, bien que simple, présentait des limitations importantes en termes de précision, de reproductibilité, d'hygiène et de productivité. L'avènement de la Révolution industrielle a marqué un tournant décisif, avec l'introduction des premières machines mécaniques. Ces dispositifs, souvent actionnés manuellement ou par des systèmes à vapeur, ont permis une amélioration progressive des performances, notamment dans les secteurs agroalimentaire et pharmaceutique [2].

Au début du XX^e siècle, l'essor de l'électricité et le développement des chaînes de production, inspirées notamment des travaux de Henry Ford, ont conduit à l'émergence de machines de remplissage semi-automatiques. Cette évolution a permis d'augmenter significativement les cadences de production tout en améliorant la répétabilité et la standardisation des opérations [4]. C'est également durant cette période que les premières lignes d'embouteillage automatisées ont été mises en place, en particulier dans l'industrie des boissons.

Entre les années 1950 et 1980, les progrès en électronique et en régulation industrielle ont profondément transformé les technologies de remplissage. L'intégration de capteurs, de systèmes de dosage volumétrique et pondéral, ainsi que l'utilisation des automates programmables industriels (API), ont permis d'atteindre des niveaux élevés de précision, de fiabilité et d'automatisation [6]. Parallèlement, le renforcement des normes d'hygiène et de sécurité, notamment dans les industries pharmaceutique et agroalimentaire, a contribué à orienter la conception des machines vers des solutions plus sûres et conformes aux exigences réglementaires [9], [10].

À partir des années 1990, l'intégration de l'informatique industrielle et des systèmes de contrôle avancés a favorisé l'émergence de machines de remplissage entièrement automatisées. Les lignes de production sont devenues intelligentes, capables d'ajuster en temps réel leurs paramètres de fonctionnement en fonction des conditions opératoires.

Chapitre I : Généralités de la machine de remplissage

L'introduction de la vision industrielle et des systèmes de traçabilité a également renforcé le contrôle qualité et la sécurité des produits [3].

Aujourd'hui, dans le contexte de l'Industrie 4.0, les machines de remplissage s'inscrivent dans des architectures cyber-physiques interconnectées. Elles exploitent des technologies avancées telles que l'Internet des objets (IoT), l'intelligence artificielle et l'analyse de données massives afin d'optimiser les performances, d'anticiper les défaillances et d'améliorer l'efficacité énergétique [4], [6].

En somme, l'évolution des machines de remplissage illustre le passage progressif d'un procédé artisanal à des systèmes industriels hautement automatisés et intelligents, répondant aux impératifs croissants de productivité, de précision, de sécurité et de durabilité dans l'industrie contemporaine.

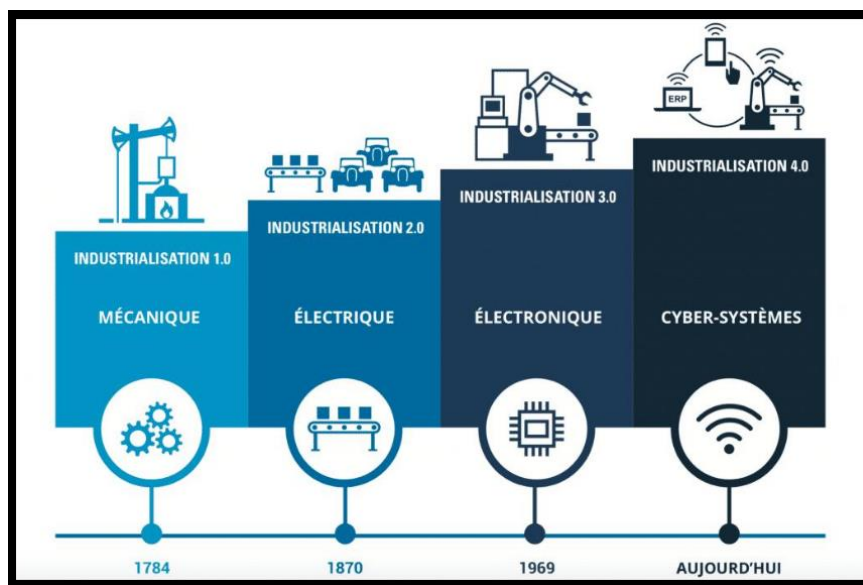


Figure 1 : Développement de l'industrie durant les années

I.3.Présentation générale de la machine de remplissage

I.3.1.Définition

Une machine de remplissage est un équipement industriel automatisé destiné à assurer le dosage, le transfert et le conditionnement précis de produits dans des contenants adaptés. Elle constitue une étape essentielle des processus de production modernes, en particulier dans les secteurs agroalimentaire, pharmaceutique, cosmétique et chimique. Grâce à son fonctionnement automatisé, la machine de remplissage permet d'améliorer l'efficacité et la productivité, de réduire les délais de production ainsi que les coûts de main-d'œuvre,

Chapitre I : Généralités de la machine de remplissage

tout en garantissant une qualité constante et une grande précision du remplissage. Elle est conçue pour traiter différents types de produits, qu'ils soient liquides, visqueux ou sous forme de poudres, et peut s'adapter à une large variété de contenants tels que les bouteilles, les flacons, les pots ou les sacs.

I.3.2. Rôle industriel

Les machines de remplissage industrielles sont des équipements spécialisés conçus pour automatiser le processus de remplissage dans le domaine de la production. Utilisées dans de nombreux secteurs tels que l'alimentation, la cosmétique, la pharmacie et la chimie, elles permettent d'améliorer considérablement l'efficacité et la productivité des lignes de conditionnement. Grâce à leur grande précision, elles assurent un dosage fiable tout en réduisant les coûts de main-d'œuvre et en limitant les erreurs humaines par rapport au remplissage manuel. Ces machines sont capables de traiter une large gamme de produits liquides, poudres, granulés ou produits visqueux et de les conditionner dans différents formats de contenants tels que des bouteilles, des flacons, des pots ou des sacs.[24]

I.4. Classification des machines de remplissage

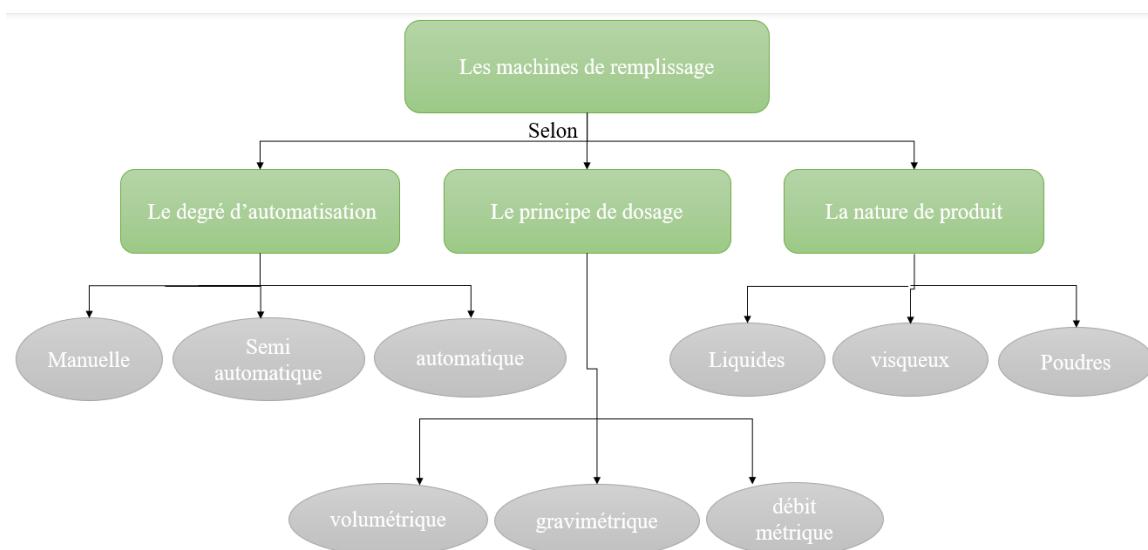


Figure 2 : Classification des machines de remplissage.

La figure2 présentée propose une classification synthétique des machines de remplissage selon trois critères fondamentaux : le degré d'automatisation, le principe de dosage et la nature du produit traité ,Tout d'abord selon le degré d'automatisation, les machines de remplissage se répartissent en trois catégories principales : manuelles, semi-

Chapitre I : Généralités de la machine de remplissage

automatiques et automatiques. Cette classification met en évidence une progression technologique allant d'un contrôle entièrement humain vers des systèmes entièrement autonomes. Les machines manuelles reposent sur l'intervention directe de l'opérateur, tandis que les systèmes semi-automatiques combinent action humaine et assistance mécanique. À l'opposé, les machines automatiques fonctionnent de manière autonome, avec un contrôle assuré par des systèmes électroniques et informatiques, ensuite, la figure met en évidence le principe de dosage comme un second axe de classification essentiel. Trois méthodes principales sont identifiées : le dosage volumétrique, gravimétrique et par débit métrique. Ces techniques diffèrent par leur mode de mesure et de contrôle de la quantité de produit distribuée. Le choix de l'une ou l'autre dépend des exigences en termes de précision, de cadence de production et des propriétés physiques du fluide

Enfin, la classification selon la nature du produit distingue les liquides, les produits visqueux et les poudres. Cette catégorisation souligne l'influence directe des propriétés physico-chimiques des produits sur la conception et le fonctionnement des machines de remplissage. En effet, chaque type de produit nécessite des dispositifs spécifiques afin d'assurer un remplissage précis, efficace et sans altération du produit .

I.4.1.Selon le degré d'automatisation

I.4.1.1.Les machines manuelles

Les machines de remplissage manuelles peuvent être définies, de manière simple, comme des dispositifs destinés à introduire des quantités précises de liquide dans des contenants. Contrairement aux systèmes automatisés, ces équipements nécessitent l'intervention directe d'un opérateur pour assurer le contrôle du processus de remplissage. Elles occupent une place importante dans plusieurs secteurs industriels en raison de leur coût relativement faible, de leur précision acceptable et de leur flexibilité d'utilisation [2], [5]. Ces machines se distinguent principalement par leur simplicité de conception et leur facilité de mise en œuvre. Elles permettent à l'opérateur de contrôler directement les paramètres essentiels du procédé, notamment la vitesse de remplissage et le volume de la dose, en fonction des caractéristiques spécifiques du produit manipulé. Cette interaction directe favorise une meilleure adaptation aux variations de viscosité ou de comportement des liquides [7].

Par ailleurs, les remplisseuses manuelles présentent un avantage notable en termes de flexibilité d'installation. Elles peuvent être utilisées dans des espaces restreints ou

Chapitre I : Généralités de la machine de remplissage

intégrées dans des lignes de production temporaires, sans nécessiter d'infrastructures complexes ni d'investissements importants. Le contrôle visuel et manuel du processus permet également de détecter rapidement les anomalies, telles que les fuites ou les défauts de dosage, contribuant ainsi à améliorer la qualité du produit final et à limiter les pertes [2]. En outre, ces équipements ne requièrent généralement ni alimentation électrique ni systèmes automatisés sophistiqués, ce qui les rend économes en énergie et facilement transportables. Leur utilisation constitue également un outil pédagogique efficace pour la formation des opérateurs, en leur permettant d'acquérir les bases du remplissage et du dosage avant de passer à des systèmes automatisés plus complexes [11]. De ce fait, les machines de remplissage manuelles représentent une solution adaptée aux petites entreprises, aux productions artisanales ainsi qu'aux phases expérimentales en milieu industriel.



Figure 3 : Une machine manuelle.

I.4.1.2. Les machines semi-automatiques

Les machines de remplissage semi-automatiques nécessitent généralement une intervention humaine partielle, notamment pour l'alimentation et la récupération des contenants. Elles sont souvent équipées de pompes indépendantes ainsi que de bandes transporteuses motorisées permettant d'acheminer les bouteilles depuis l'entrée jusqu'à la sortie de la machine, en passant par les buses de dosage [4].

Dans les configurations linéaires, ces systèmes comportent généralement entre une et six buses de remplissage, selon la capacité de production recherchée. Le positionnement du récipient sous la buse est assuré à l'aide de dispositifs de synchronisation, tels que des vérins pneumatiques, garantissant un alignement précis avant le démarrage du

Chapitre I : Généralités de la machine de remplissage

remplissage. L'opérateur intervient en amont pour placer la bouteille sous la buse, puis déclenche le processus de remplissage. Une fois la dose délivrée, le récipient rempli est retiré manuellement. Ce mode de fonctionnement permet de maintenir un certain contrôle humain tout en bénéficiant d'une assistance mécanique [4], [6].

Par ailleurs, ces machines peuvent être dotées de systèmes de commande relativement simples, tels que des temporisateurs numériques ou des automates programmables, permettant d'ajuster avec précision le volume de remplissage et d'assurer une bonne répétabilité du procédé. L'intégration de capteurs de présence des bouteilles sous les buses contribue également à réduire les erreurs de manipulation et à améliorer la sécurité de fonctionnement [6]. Bien que leur cadence de production reste inférieure à celle des systèmes entièrement automatisés, les machines de remplissage semi-automatiques représentent un compromis efficace entre coût d'investissement, précision et performance [11].

Elles sont ainsi particulièrement adaptées aux petites et moyennes entreprises, ainsi qu'aux lignes de production nécessitant une grande flexibilité en termes de formats et de types de produits.



Figure 4: Une machine semi-automatique.

I.4.1.3. Les machines automatiques

Les remplisseuses automatiques représentent le niveau le plus avancé en matière de technologie de conditionnement des liquides. Ces systèmes sont conçus pour fonctionner de manière autonome, avec une intervention humaine minimale, généralement limitée à la supervision, à la maintenance et à l'approvisionnement en matières premières [11].

Chapitre I : Généralités de la machine de remplissage

Elles intègrent de manière coordonnée l'ensemble des étapes du processus, allant de l'alimentation des bouteilles jusqu'au remplissage, au bouchage et, dans certains cas, à l'étiquetage. Sur le plan opérationnel, ces machines sont équipées de convoyeurs motorisés assurant le transport continu des contenants à travers les différentes stations de traitement. Le positionnement des bouteilles est automatisé grâce à des systèmes de guidage et de synchronisation précis, souvent basés sur des capteurs optiques ou inductifs [6].

Le remplissage est réalisé à l'aide de buses de dosage contrôlées électroniquement, garantissant à la fois une grande précision et une excellente répétabilité, quel que soit le débit ou la viscosité du fluide [4].

Un avantage majeur des remplisseuses automatiques réside dans leur capacité d'adaptation aux conditions de production. Elles peuvent ajuster automatiquement la vitesse de remplissage et la cadence globale selon les paramètres définis, tels que le type de produit, le volume à remplir ou le format des contenants. Cette flexibilité est rendue possible par l'utilisation d'automates programmables industriels (API) et d'interfaces homme-machine (IHM) [6].

Par ailleurs, ces machines intègrent souvent des modules complémentaires, notamment des systèmes de bouchage et d'étiquetage automatiques, assurant une finition complète du produit sans intervention manuelle. Certaines installations incluent également des dispositifs de contrôle qualité en ligne, tels que la vérification du niveau de remplissage ou la présence du bouchon, renforçant ainsi la fiabilité du processus [4].

En termes de performance, les remplisseuses automatiques offrent des cadences de production élevées, une réduction significative des erreurs humaines et une optimisation globale du rendement industriel. Néanmoins, ces avantages s'accompagnent d'un coût d'investissement initial plus élevé et d'une complexité technique nécessitant des compétences spécialisées pour leur exploitation et leur maintenance [11].

En conclusion, les machines de remplissage entièrement automatiques constituent une solution idéale pour les industries à grande échelle recherchant une production continue, standardisée et de haute qualité.



Figure 5: Une machine automatique.

I.4.2.Selon le principe de dosage

I.4.2.1.Remplissage volumétrique

Le remplissage volumétrique repose sur l'utilisation d'une pompe assurant l'alimentation et le dosage précis du produit. La pompe aspire un volume prédéterminé depuis une cuve, puis le transfère dans le récipient à remplir. Différents types de pompes peuvent être utilisés, notamment les pompes péristaltiques, à piston ou à engrenages [7].

Cette technique présente plusieurs avantages, tels que la rapidité, la flexibilité et la capacité à traiter une large gamme de liquides, allant des fluides aux produits visqueux [2].

I.4.2.2.Remplissage pondéral (gravimétrique)

Le remplissage pondéral repose sur la mesure en temps réel du poids du produit durant le processus. Cette méthode permet d'assurer une grande précision en compensant les variations de densité [4].

Elle est particulièrement adaptée aux produits à forte valeur ajoutée, notamment dans les secteurs pharmaceutique et chimique. Toutefois, elle présente une cadence de production plus faible et nécessite un étalonnage régulier des capteurs [2].

I.4.2.3. Remplissage par débit métrique

Le remplissage par débit métrique utilise un débitmètre pour mesurer le flux de liquide, associé à une vanne automatique qui se ferme lorsque la quantité souhaitée est atteinte. Cette méthode offre un bon compromis entre précision et rapidité [7], [4].

Elle est particulièrement adaptée aux lignes de production automatisées nécessitant une grande répétabilité et une qualité constante du produit final.

I.4.3. Selon la nature du produit

La classification des machines de remplissage selon la nature du produit constitue un critère déterminant dans le choix et la conception des équipements industriels. En effet, les caractéristiques physico-chimiques des produits à conditionner, telles que la viscosité, la densité, la présence éventuelle de particules solides, la sensibilité à l'air ou encore le caractère corrosif, influencent directement le principe de dosage adopté, le type de pompe utilisé ainsi que les matériaux de fabrication de la machine

La nature du produit détermine le type de technologie de remplissage à utiliser. Les catégories principales comprennent :

- **Liquides fluides** : viscosités faibles et ne générant pas de mousse, tels que l'eau ou les jus [11].



Figure 6: Machine de remplissage de liquide à piston automatique [5].

Chapitre I : Généralités de la machine de remplissage

La figure 6 représente une machine de remplissage de liquide à piston automatique qui se distingue par une structure mécanique robuste et durable, généralement conçue en acier inoxydable de haute qualité. L'utilisation de ce matériau assure non seulement une grande longévité, mais garantit également une conformité rigoureuse aux normes d'hygiène et de sécurité industrielle, indispensables dans les environnements de production modernes. Le système de remplissage repose sur une technologie à pistons, offrant un contrôle précis du volume de liquide distribué. Cette précision permet de limiter les pertes de produit tout en assurant une excellente répétabilité du dosage, ce qui se traduit par une homogénéité remarquable des contenants remplis et une qualité constante du produit final.

En outre, le modèle FP4150 a été conçu pour s'intégrer aisément dans des lignes de production automatisées, ce qui le rend particulièrement adapté aux unités industrielles spécialisées dans la fabrication de détergents liquides. Il représente ainsi une solution fiable et performante, combinant efficacité opérationnelle, stabilité de fonctionnement et conformité aux exigences actuelles en matière de productivité, de qualité et de durabilité des procédés industriels.

- **Produits visqueux** : crèmes, sauces ou gels qui requièrent une pression régulée pour assurer un écoulement maîtrisé et un dosage précis [2].



Figure 7: Machine de remplissage de produits visqueux [16].

Chapitre I : Généralités de la machine de remplissage

La figure 7 présente le modèle KMGP-8. La NDGP est une machine de remplissage liquide entièrement automatique, spécialement conçue pour le conditionnement de contenants de 0,3 à 5 litres, incluant les bouteilles en PET, les bouteilles en verre, les canettes et d'autres types de récipients. Elle se révèle particulièrement adaptée au remplissage de liquides visqueux, tels que le beurre de cacahuète, les crèmes ou les huiles comestibles. Grâce à sa grande flexibilité opérationnelle, la vitesse de production peut être ajustée entre 1 000 et 3 000 contenants par heure, permettant ainsi de satisfaire efficacement les besoins des lignes de production à petite et moyenne échelle. Le modèle KMGP-8 (NDGP) se distingue par sa conception robuste et hygiénique, spécifiquement adaptée aux exigences rigoureuses du secteur agroalimentaire. Sa fabrication en acier inoxydable lui confère une excellente résistance à la corrosion tout en facilitant son nettoyage, conformément aux normes sanitaires en vigueur.

La machine intègre un système de dosage précis, assurant une distribution homogène du produit dans chaque contenant et minimisant les pertes ainsi que les débordements. Cette précision contribue non seulement à la qualité du produit final, mais également à une utilisation optimisée des matières premières. De plus, son système de commande automatisé, généralement piloté via une interface à écran tactile, permet à l'opérateur d'ajuster facilement les paramètres de remplissage, tels que le volume, la cadence et le type de produit. Cette automatisation améliore la productivité tout en réduisant l'intervention humaine, garantissant ainsi une répétabilité accrue du processus et une qualité constante du remplissage.

- **Poudres et granulés** : ingrédients secs comme les farines ou les épices, sensibles à la compaction et aux variations d'écoulement [4].



Figure 8: Machine de remplissage de la poudre.

La figure 8 représente une machine de remplissage et de scellage de poudres qui est un équipement d'emballage conçu pour doser, remplir et sceller des conteneurs contenant des produits en poudre. Ces conteneurs peuvent prendre différentes formes, telles que des sacs, sachets, pots ou bouteilles. Ces machines sont largement déployées dans les secteurs alimentaire, pharmaceutique et cosmétique, où la précision du dosage et le respect strict des normes d'hygiène sont essentiels.

Ces équipements permettent de traiter efficacement les poudres à écoulement libre ainsi que certaines poudres plus compactes, bien que toutes les machines ne puissent pas gérer simultanément les deux types de produits. Ils assurent une constance précise du poids ou du volume pour chaque récipient, garantissant ainsi la régularité et la qualité du produit final.

Tableau 1: Un tableau comparatif (type de produit ↔ technologie de remplissage).

Type de produit	Technologie de remplissage	Caractéristiques principales	Applications typiques
Liquides peu visqueux	Volumétrique (pompes)	Dosage précis par volume, rapide, adapté	Eau, jus, boissons, solutions chimiques

Chapitre I : Généralités de la machine de remplissage

	péristaltiques, à piston ou à lobes)	aux lignes automatisées ou semi-automatiques	
Liquides visqueux	Volumétrique ou piston à déplacement positif	Contrôle précis du volume malgré la viscosité, réduction des pertes	Détergents liquides, huiles comestibles, sirops
Produits coûteux ou sensibles	Gravimétrique (pondéral)	Dosage très précis par poids, compense la variation de densité, nécessite étalonnage régulier	Produits pharmaceutiques, ingrédients alimentaires rares
Liquides à débit constant	Débit métrique (flow mètre)	Dosage par volume ou masse avec fermeture automatique de la vanne	Laits, huiles, sauces
Poudres à écoulement libre	Volumétrique ou gravimétrique	Dosage par poids ou volume, adaptation aux contenants, scellage hermétique	Farine, sucre, lait en poudre
Poudres compactes	Gravimétrique (pondéral)	Dosage précis du poids, limitation des pertes et débordements	Produits pharmaceutiques, poudres alimentaires spécialisées
Granulés et particules	Volumétrique (tamis, vis sans fin)	Distribution uniforme par volume ou masse, adaptation aux différents contenants	Café, sel, céréales, engrais granulaires

I.5. Spécificité du remplissage pour le miel

I.5.1. Objectif

L'objectif principal d'une machine de remplissage de miel équipée d'un système de pesage est d'assurer une distribution précise et reproductible de la quantité de produit dans chaque récipient. En garantissant que chaque pot ou bouteille reçoit exactement la masse de miel prédéfinie, ce type d'équipement permet de réduire les pertes de matière, d'assurer une uniformité du conditionnement et de répondre aux exigences de conformité en matière de dosage. Par rapport aux méthodes de remplissage manuel, ces machines offrent une amélioration significative de la précision et de la productivité. Le contrôle automatisé du poids, effectué avant et/ou pendant le remplissage, limite l'intervention humaine et réduit ainsi les risques d'erreurs, tout en assurant une meilleure répétabilité du processus. En outre, ces systèmes contribuent à la préservation de la qualité du miel, en garantissant des conditions de remplissage propres et contrôlées, limitant les contaminations et les pertes liées à l'écoulement ou à l'adhérence du produit. Leur conception permet également une grande flexibilité d'utilisation, en s'adaptant à différents formats de contenants, qu'il s'agisse de pots, de bouteilles ou de récipients de volumes variés. Par ailleurs, ces machines représentent une solution particulièrement adaptée aux petites et moyennes unités de production, notamment dans le domaine apicole, tout en pouvant être intégrées dans des lignes semi-automatisées. Elles permettent ainsi aux opérateurs d'optimiser la gestion de la production, de minimiser le gaspillage et de réduire les coûts opérationnels, tout en maintenant un niveau élevé de qualité et de performance.

I.5.2. Principales marques

- **Swienty : DANA API MATIC 1000**

La DANA API MATIC 1000 est une doseuse de haute précision conçue pour le conditionnement du miel ainsi que d'autres produits visqueux. Elle se distingue par sa polyvalence d'utilisation et sa capacité de production pouvant atteindre 280 kg/h, avec une précision de l'ordre de ± 1 g, ce qui en fait un équipement particulièrement performant pour les applications nécessitant un dosage rigoureux [20].



Figure 9: Machine doseuse pour le conditionnement du miel.

La figure 9 représente une machine doseuse pour le conditionnement du miel permet à l'opérateur de régler facilement les paramètres de fonctionnement, notamment la vitesse de remplissage et la masse à distribuer, tout en offrant la possibilité de mémoriser plusieurs programmes adaptés à différents formats de contenants. Cette fonctionnalité contribue à améliorer la flexibilité et à réduire les temps de changement de production .

Par ailleurs, la DANA API MATIC 1000 se caractérise par une conception hygiénique facilitant le nettoyage, un aspect essentiel dans le secteur agroalimentaire. Elle peut également être intégrée dans une ligne de production automatisée, ce qui permet d'optimiser la productivité globale et d'assurer une continuité efficace du processus de conditionnement [14].

- **Fillmel**

La doseuse à miel Fillmel est un équipement de remplissage conçu pour assurer un conditionnement précis et fiable du miel, y compris sous forme cristallisée. Elle offre une large plage de dosage, allant de 50 g à 45 kg, ce qui lui confère une grande flexibilité d'utilisation pour différents types de contenants et niveaux de production [21].



Figure 10: Doseuse pompe à miel électronique.

La figure 10 représente une machine intègre un système combiné de pompage et de programmation électronique, permettant un contrôle précis du processus de remplissage. Le miel est aspiré directement depuis un saturateur, assurant ainsi une alimentation continue et homogène du système [2].

Par ailleurs, la doseuse Fillmel est équipée d'une fonction anti-goutte, contribuant à réduire les pertes de produit et à maintenir la propreté des contenants et de l'environnement de travail. Elle est généralement fournie avec un support en acier inoxydable, une pédale de commande ainsi que les tuyaux nécessaires à son fonctionnement, facilitant ainsi son installation et son utilisation dans des conditions optimales [14].

- **FillOmat**

La doseuse à miel FillOmat constitue une solution avancée de dosage et de conditionnement, spécialement conçue pour répondre aux exigences des apiculteurs en matière de précision et d'efficacité. Elle permet le remplissage du miel sous différentes formes, qu'il soit liquide ou crémeux, tout en assurant une grande fiabilité du processus [22].

Cette machine se distingue par une précision de dosage de l'ordre de ± 2 g, garantissant un remplissage exact des contenants et contribuant ainsi à la réduction du gaspillage. Cette précision est particulièrement importante dans le cas du miel, produit à forte valeur ajoutée, où le respect des quantités définies constitue un enjeu économique et qualitatif majeur [23].



Figure 11: Doseuse à miel polyvalente.

En outre, la FillOmat qui est représenté dans la figure 11 offre une utilisation simple et efficace, adaptée aux petites et moyennes exploitations apicoles, tout en assurant une bonne répétabilité du processus de remplissage. Elle représente ainsi un compromis optimal entre performance, facilité d'utilisation et coût d'investissement, répondant aux besoins des unités de production recherchant une solution fiable pour le conditionnement du miel [5].

- **Lom-tech**

Pour les applications industrielles à grande échelle, les équipements proposés par Lom-tech se distinguent par leur haut niveau d'automatisation et leurs performances élevées en matière de remplissage du miel. Ces machines sont conçues en acier inoxydable de qualité 304/316, garantissant une excellente résistance à la corrosion ainsi qu'une conformité aux exigences d'hygiène du secteur agroalimentaire [24]. Elles offrent une précision de dosage comprise entre $\pm 0,1\%$ et $\pm 1\%$, permettant d'assurer une grande fiabilité du remplissage tout en minimisant les pertes de produit. Leur capacité de production est particulièrement élevée, variant de 2 000 à 20 000 bouteilles par heure, ce qui les rend adaptées aux lignes de production industrielles à forte cadence [5].



Figure 12: Machine remplisseuse de miel entièrement automatique.

Ces remplisseuses qui ils sont représentés dans la figure 12 sont généralement équipées de 4 à 20 buses de remplissage, associées à un système de convoyage automatisé, assurant un flux continu des contenants tout au long du processus. Le pilotage de la machine est assuré par un automate programmable industriel (PLC) couplé à une interface homme-machine (écran tactile), permettant un réglage précis des paramètres et une utilisation simplifiée [25]. Grâce à ces caractéristiques, les machines Lom-tech offrent une combinaison optimale de performance, sécurité, hygiène et facilité d'exploitation, ce qui en fait une solution idéale pour les unités de production apicole à grande échelle et les industries agroalimentaires spécialisées dans le conditionnement du miel [14].

- **Pestopack**

La machine de remplissage de miel PESTOPACK est un équipement entièrement automatique, spécialement conçu pour le conditionnement de produits à haute viscosité, tels que le miel. Elle se distingue par une capacité de production comprise entre 1 000 et 5 000 bouteilles par heure, avec une grande flexibilité en termes de formats de contenants, allant de 50 ml à 5 000 ml . Fabriquée en acier inoxydable SUS304/SUS316, cette machine garantit une excellente résistance à la corrosion ainsi qu'une conformité aux normes d'hygiène et de sécurité exigées dans l'industrie agroalimentaire [14]. Elle intègre un système de commande automatisé, généralement basé sur un automate programmable industriel (PLC) et une interface à écran tactile, permettant un réglage précis et intuitif des paramètres de remplissage [25].



Figure 13: PESTOPACK – Machine entièrement automatique.

Par ailleurs, la machine PESTOPACK représentée dans la figure 13 bénéficie d'un support technique et d'un service après-vente à l'échelle internationale, ce qui constitue un atout majeur pour les utilisateurs en termes de maintenance, d'assistance technique et de continuité de production. Grâce à ces caractéristiques, elle représente une solution fiable et performante pour les unités de production de moyenne à grande capacité spécialisées dans le conditionnement du miel [2].

Le choix d'une machine de remplissage du miel dépend principalement :

- Du volume de production,
- Du niveau de précision requis,
- Du budget disponible, et du degré d'automatisation souhaité.

Ainsi, les petites unités privilégieront des solutions semi-automatiques pour leur flexibilité et leur coût réduit, tandis que les industries à grande échelle opteront pour des systèmes entièrement automatisés afin d'optimiser la productivité et la qualité du remplissage.

Tableau 2: Comparaison des machines de remplissage du miel.

La marque	Type	Pays d'origine	Usage recommandé
-----------	------	-------------------	------------------

Chapitre I : Généralités de la machine de remplissage

Swienty	Semi-automatique	Danemark	Production économique et de petite à moyenne capacité, destinée aux apiculteurs, ateliers artisanaux et petites entreprises agroalimentaires.
Fillmel	Semi-automatique	France	Petite production, adaptée aux laboratoires, micro-entreprises et unités artisanales
FillOmat	Semi-automatique	Italie	Production à faible cadence, recommandée pour les petites structures et ateliers semi-industriels.
Lom-tech	Automatique	Chine	Production industrielle à grande capacité, destinée aux usines et lignes de production automatisées.
PESTOPACK	Automatique	Chine	Production industrielle élevée, conçue pour les grandes entreprises et unités de fabrication à haut rendement.

I.6. Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter les fondements généraux relatifs aux machines de remplissage, en mettant en évidence leur rôle essentiel dans les différents secteurs industriels, notamment dans l'agroalimentaire. L'analyse des diverses classifications, fondées sur le niveau d'automatisation, le principe de dosage et la nature du produit, a montré que le choix d'un équipement de remplissage dépend étroitement des exigences en termes de cadence de production, de précision et de rentabilité.

Par ailleurs, l'étude spécifique du remplissage du miel a mis en lumière les contraintes techniques particulières liées aux propriétés physico-chimiques de ce produit, telles que sa viscosité élevée et sa tendance à la cristallisation. Ces caractéristiques nécessitent l'utilisation de technologies adaptées afin d'assurer un remplissage précis, tout en préservant les qualités organoleptiques et nutritionnelles du miel.

En outre, la comparaison des principales machines de remplissage disponibles sur le marché a permis de distinguer clairement les solutions adaptées aux petites productions artisanales, caractérisées par leur flexibilité et leur simplicité, de celles destinées aux applications industrielles à grande échelle, privilégiant la productivité et l'automatisation.

Ainsi que, ce chapitre constitue une base théorique solide, indispensable pour aborder les étapes suivantes du travail, qui porteront sur l'analyse, la conception et la réalisation d'une machine de remplissage de miel performante, fiable et économiquement optimisée.

Chapitre II : Analyse fonctionnelle



II.1. Introduction

L'analyse fonctionnelle constitue ainsi une étape clé du processus de conception, car elle facilite la compréhension globale du système et oriente les choix technologiques futurs. Elle s'appuie sur des outils et des méthodes normalisés permettant de formaliser les fonctions du produit et de garantir leur cohérence avec les attentes des utilisateurs et les exigences du contexte d'utilisation. Dans le cadre de notre projet de conception et de prototypage d'une machine de remplissage de miel, il est nécessaire de commencer par une analyse fonctionnelle afin de bien comprendre le rôle exact du système et les performances qu'il doit assurer.

L'analyse fonctionnelle représente une étape fondamentale dans le processus de conception. Elle permet d'identifier clairement le besoin à satisfaire et de le traduire en fonctions concrètes et mesurables, sans se concentrer immédiatement sur les solutions techniques. Autrement dit, elle aide à préciser pourquoi la machine est conçue, à qui elle est destinée et dans quelles conditions elle devra fonctionner. Dans le cas d'une machine de remplissage de miel, cette démarche permet de déterminer la fonction principale, qui consiste à remplir les contenants de manière précise et maîtrisée. Elle permet également d'identifier les différentes contraintes à respecter, notamment en matière de sécurité, d'hygiène, de précision de dosage, de rythme de production et de conditions d'utilisation.

Ce chapitre a donc pour but de définir et d'organiser l'ensemble des fonctions que devra assurer la machine, afin de poser des bases claires et cohérentes pour la suite du travail de conception et la réalisation du prototype.

II.2. Concept de l'analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est définie par les normes NF X50-150 et NF X50-153 comme une démarche méthodologique rigoureuse visant à rechercher, ordonner, caractériser, hiérarchiser et valoriser les fonctions d'un produit tout au long de son cycle de vie [28]. Elle constitue un outil fondamental de l'ingénierie de conception, permettant de structurer la réflexion en se focalisant sur les fonctions à assurer plutôt que sur les solutions techniques elles-mêmes [31]. Dans cette approche, le produit est considéré comme un système destiné à répondre à un besoin exprimé par l'utilisateur, dans un environnement donné et sous un ensemble de contraintes spécifiques [30]. L'analyse fonctionnelle permet ainsi de formaliser ce besoin sous forme de fonctions de service et de fonctions contraintes, facilitant la compréhension globale du système et orientant efficacement les choix de

conception. Pour un produit donné, l'analyse fonctionnelle offre plusieurs apports majeurs. Tout d'abord, elle permet d'optimiser la conception ou la reconception (rétroconception) en s'appuyant sur une identification claire et structurée des fonctions que le produit doit remplir [31]. Cette démarche favorise l'élimination des solutions inutiles ou surdimensionnées, contribuant ainsi à une meilleure maîtrise des coûts et des performances.

Ensuite, elle introduit une approche systémique dans la recherche de solutions technologiques. En effet, en décomposant le système en fonctions élémentaires et en analysant leurs interactions, il devient possible d'explorer différentes alternatives techniques de manière cohérente et rationnelle. Par ailleurs, l'analyse fonctionnelle constitue un outil pertinent pour le suivi et l'évaluation de l'avancement du projet [30]. En définissant des critères objectifs associés à chaque fonction, elle permet de mesurer de manière précise le degré de satisfaction des exigences et d'identifier d'éventuels écarts. Enfin, cette démarche contribue à la réalisation de projets de qualité, en garantissant l'adéquation entre le produit conçu et les besoins réels des utilisateurs [32]. Elle favorise également le respect des contraintes économiques, temporelles et techniques.

II.3. Expression du besoin

L'expression des besoins, également appelée spécification des exigences, constitue une étape fondamentale dans tout processus de conception de systèmes. Elle consiste à identifier, recueillir et formaliser de manière détaillée l'ensemble des attentes, des contraintes et des fonctionnalités souhaitées par les différentes parties prenantes.

Cette démarche vise à définir avec précision les objectifs du système à concevoir, en répondant clairement à la question : que doit accomplir le produit ? [30]. Elle permet d'établir une base de référence commune, facilitant la communication entre les différents acteurs du projet. Le processus d'expression des besoins repose sur plusieurs techniques de collecte d'informations, telles que les entretiens, les questionnaires, les observations et l'analyse documentaire [33].

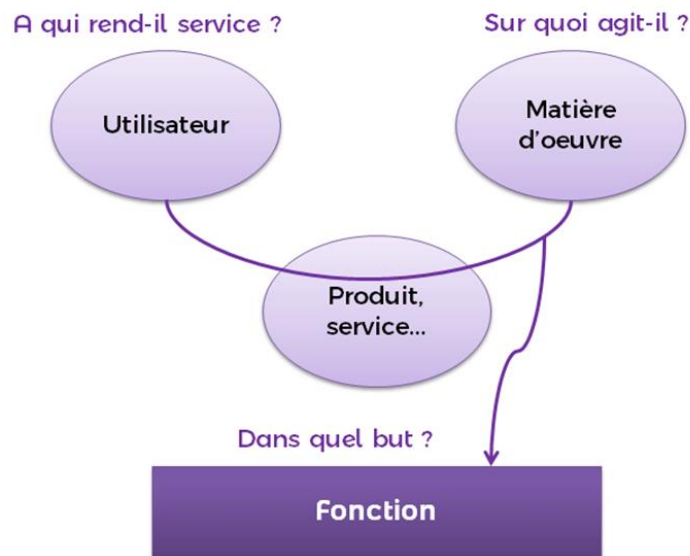


Figure 14:Diagramme bête à cornes.

Une fois les informations recueillies, elles sont traduites en exigences fonctionnelles et non fonctionnelles. Les exigences fonctionnelles décrivent les services du système, tandis que les exigences non fonctionnelles précisent les contraintes associées (performance, sécurité, ergonomie, hygiène, coûts) [27]. Par ailleurs, l'expression des besoins s'inscrit dans une démarche évolutive, nécessitant des mécanismes de validation et de révision continue [33]. Dans le cadre du projet de conception d'une machine de remplissage de miel, cette étape permet de définir précisément les performances attendues, telles que la précision du dosage, la cadence de production et le respect des normes d'hygiène alimentaire .

Tableau 3: Des exigences fonctionnelles et contraintes.

Type d'exigence	Référenc e	Description de l'exigence	Critère d'évaluation	Niveau/Spécificatio n
Fonctionnell e	EF1	Remplir les contenants	Volume de miel distribué	$\pm 2 \%$ de précision
Fonctionnell e	EF2	Assurer un débit constant	Variation du débit	Stable (écart $< 5 \%$)

Chapitre II : Analyse fonctionnelle

Fonctionnelle	EF3	Doser automatiquement le miel	Type de dosage	Volumétrique ou massique
Fonctionnelle	EF4	Permettre le réglage du volume	Plage de réglage	50 ml à 1000 ml
Fonctionnelle	EF5	Minimiser les pertes de produit	Taux de perte	< 2 %
Fonctionnelle	EF6	Adapter le remplissage à la viscosité du miel	Compatibilité	Miel visqueux
Contrainte	EC1	Respecter les normes d'hygiène alimentaire	Conformité aux normes	Matériaux inoxydables (type inox 304)
Contrainte	EC2	Assurer la sécurité de l'utilisateur	Présence de dispositifs de sécurité	Bouton d'arrêt d'urgence
Contrainte	EC3	Être facile à utiliser	Temps de prise en main	< 1 heure
Contrainte	EC4	Réduire les coûts de fabrication	Coût global	Budget limité
Contrainte	EC5	Assurer une maintenance simple	Temps de maintenance	Maintenance rapide (< 30 min)

Contrainte	EC6	S'adapter à l'environnement de travail	Conditions de fonctionnement	Température ambiante
Contrainte	EC7	Être compact et ergonomique	Dimensions	Adapté à un plan de travail
Contrainte	EC8	Assurer une cadence de production acceptable	Nombre de remplissages/min n	≥ 10 contenants/min

Dans le cadre de l'analyse fonctionnelle, la méthode dite de la bête à cornes constitue un outil fondamental pour identifier et formaliser le besoin auquel doit répondre un système. Elle repose sur trois questions essentielles permettant de définir clairement la finalité du produit indépendamment des solutions techniques envisagées.

II.3.4. Formulation de la fonction principale

À partir des réponses aux trois questions précédentes, la fonction principale du système est formulée de manière structurée selon la règle suivante :

- Verbe d'action + matière d'œuvre + finalité [35]
- Remplir les contenants en miel de manière précise et hygiénique.

Cette formulation permet d'obtenir une description claire, concise et non ambiguë du rôle du système, tout en restant indépendante des solutions techniques envisagées.

II.3.5. Importance dans la conception

L'utilisation de cette démarche garantit une meilleure compréhension du besoin initial et constitue une base solide pour la suite de l'analyse fonctionnelle, notamment pour l'élaboration du diagramme pieuvre, du diagramme FAST et du cahier des charges fonctionnel [36].

II.4. Catégorie de l'analyse fonctionnelle

II.4.1. Analyse fonctionnelle externe

L'analyse fonctionnelle externe constitue une étape essentielle dans la démarche globale de conception d'un produit. Elle permet d'identifier et de définir les éléments fondamentaux du cahier des charges fonctionnel (CdCF), en se basant exclusivement sur les besoins exprimés par les utilisateurs, sans faire référence aux solutions techniques envisagées [34].

Cette approche consiste à recenser l'ensemble des fonctions de service que le produit doit assurer pour satisfaire les attentes des utilisateurs. Ces fonctions sont directement issues de l'usage du produit et traduisent les finalités pour lesquelles il est conçu [36].

Dans ce cadre, le produit est considéré comme un système évoluant au cœur d'un environnement donné, étudié à travers ses interactions avec les éléments extérieurs (utilisateur, matière d'œuvre, énergie, contraintes réglementaires) [35].

Cette analyse repose sur trois principes fondamentaux : la connaissance du besoin, sa compréhension et son expression sous forme de fonctions .

II.4.2 Analyse fonctionnelle interne

L'analyse fonctionnelle interne constitue une étape complémentaire visant à étudier le fonctionnement interne du produit et les solutions techniques mises en œuvre pour réaliser les fonctions définies [35].

Elle permet notamment d'identifier :

- L'architecture globale du système,
- Les chaînes d'énergie et d'information,
- Les interactions entre les composants [36].

Elle joue également un rôle essentiel dans l'optimisation du produit en termes de performance, de coût et de fiabilité [38].

II.5. Environnement d'utilisation du produit

L'environnement d'utilisation d'un produit correspond à l'ensemble des conditions et facteurs externes dans lesquels il est amené à fonctionner et qui peuvent influencer son comportement [37].

Ces contraintes environnementales influencent directement la conception du produit, notamment le choix des matériaux, la protection contre la corrosion et la précision du système [38].

II.6. Le diagramme pieuvre

Le diagramme pieuvre, également appelé graphe des interactions, est un outil fondamental de l'analyse fonctionnelle issu de la méthode APTE [34].

Il permet de représenter les interactions entre le système et son environnement en identifiant les fonctions principales, de service et contraintes [36].

Cet outil facilite la compréhension globale du système et améliore la qualité de la conception en assurant une meilleure adéquation avec les besoins réels [39].

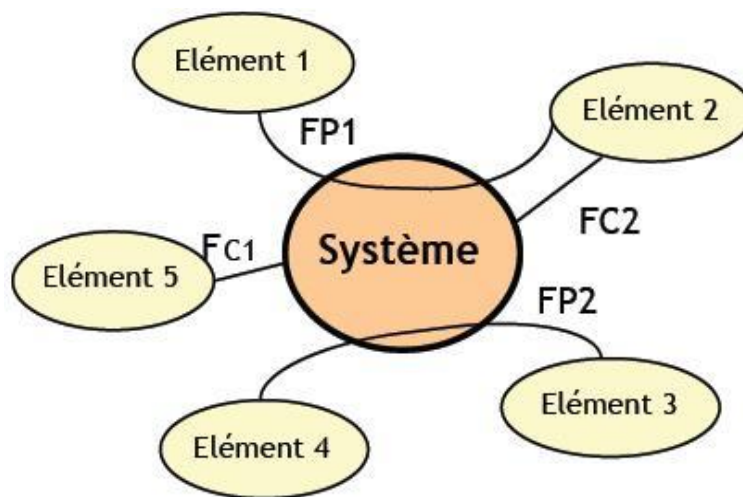


Figure 15: Diagramme de pieuvre.

❖ **Système :**

Le système étudié (produit ou machine que l'on analyse).

❖ **Éléments :**

Élément 1 – Élément extérieur en interaction avec le système.

Élément 2 – Élément extérieur lié au système.

Élément 3 – Élément extérieur en relation fonctionnelle avec le système.

Élément 4 – Élément extérieur connecté au système.

Élément 5 – Élément extérieur imposant une contrainte au système.

FP1 : Fonction principale reliant le système à l'Élément 1.

FP2 : Fonction principale reliant le système à l'Élément 3.

FC1 : Fonction contrainte imposée par l'Élément 5 au système.

FC2 : Fonction contrainte imposée par l'Élément 2 au système.

II.7. Application à la machine de remplissage de miel

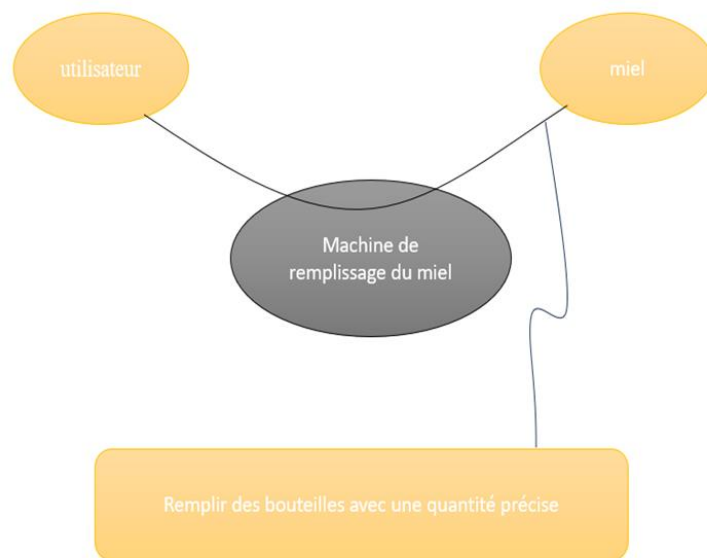


Figure 16: Diagramme bête à cornes pour la machine.

Le diagramme de pieuvre pour la machine de remplissage est montré par la figure 17.

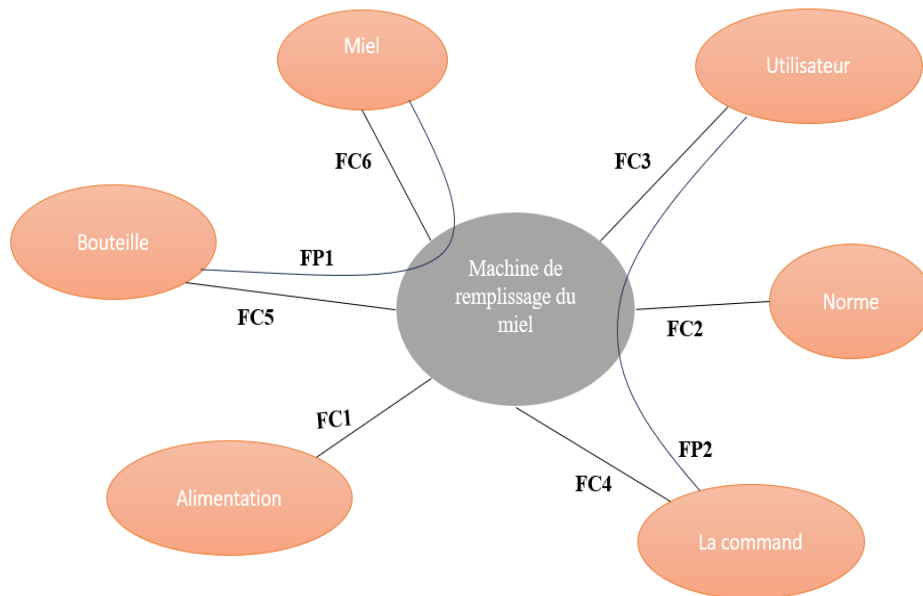


Figure 17: Diagramme de pieuvre pour la machine de remplissage.

Tableau 4 : Identification des fonctions de service.

FP1	Remplir les bouteilles avec une quantité précise et prédéfinie de miel, de manière régulière et contrôlée, afin de garantir l'uniformité du remplissage et la conformité du produit final
FP2	Permettre à l'utilisateur de commander, piloter et surveiller le fonctionnement de la machine de remplissage, en assurant une utilisation simple, intuitive et sécurisé
FC1	Être alimentée en énergie électrique adaptée afin d'assurer le fonctionnement continu et fiable de l'ensemble des composants de la machine
FC2	Respecter les normes d'hygiène, de sécurité et de qualité en vigueur dans l'industrie agroalimentaire, afin de garantir la conformité réglementaire du système

FC3 Garantir la sécurité de l'utilisateur lors de l'exploitation de la machine, tout en assurant une ergonomie appropriée pour faciliter les opérations de commande et de maintenance

FC4 Exécuter correctement les ordres émis par le système de commande, en assurant une réponse fiable et cohérente aux instructions de fonctionnement

FC5 S'adapter aux différents formats et types de bouteilles utilisés, afin de permettre une utilisation flexible de la machine dans divers contextes de production

FC6 Être compatible avec les propriétés du miel (viscosité élevée et cristallisation)

L'identification des fonctions de service constitue une étape clé dans la démarche d'analyse fonctionnelle. Elle permet de structurer les besoins en fonctions clairement définies et de préparer l'élaboration du cahier des charges fonctionnel. Dans le cas de la machine de remplissage de miel, cette étape met en évidence les exigences essentielles liées à la précision, à l'hygiène et à la performance du système

II.8. Cahier des charges fonctionnelles du produit (CDCF)

Le cahier des charges fonctionnel (CdCF) constitue un document fondamental dans le processus de conception d'un produit. Il est élaboré à partir d'une identification exhaustive des fonctions de service que le système doit assurer, ainsi que des contraintes auxquelles il est soumis. Il représente ainsi une formalisation structurée du besoin, indépendante des solutions techniques envisagées.

Selon la norme française **NF X50-150**, le cahier des charges fonctionnel est défini comme : le document par lequel le demandeur exprime son besoin (ou celui qu'il est chargé de traduire) en termes de fonctions de service et de contraintes. Pour chacune d'elles sont définis des critères d'appréciation et leurs niveaux, assortis d'une flexibilité. Cette définition met en évidence le rôle central du CdCF comme outil de communication entre les différents acteurs du projet, notamment le demandeur et le concepteur.

II.8.1.Objectifs du CdCF

Le CdCF vise principalement à :

- Exprimer clairement le besoin sous forme de fonctions de service,
- Définir les performances attendues à travers des critères mesurables,
- Préciser les contraintes liées à l'environnement, aux normes ou aux conditions d'utilisation,
- Servir de référence pour la conception, la réalisation et la validation du produit.

Ainsi, il constitue un document contractuel garantissant la conformité du produit final aux attentes initiales.

II.8.2.Structure du CdCF

Le CdCF s'organise généralement autour des éléments suivants :

- **Les fonctions de service (FP, FS)** : décrivent les services rendus par le produit,
- **Les fonctions contraintes (FC)** : traduisent les exigences imposées au système,
- **Les critères d'appréciation** : permettent d'évaluer la satisfaction des fonctions,
- **Les niveaux d'exigence** : précisent les performances attendues,
- **La flexibilité** : indique le degré de tolérance acceptable pour chaque exigence.

La notion de flexibilité est particulièrement importante, car elle permet d'introduire une marge d'adaptation dans la conception, en distinguant les exigences strictes de celles pouvant être ajustées.

II .10.Cahier des charges de la machine de remplissage de miel

1. Fonction principale

Remplir automatiquement les pots de miel selon une masse prédéfinie avec une bonne précision.

2. Fonctions de service

Mesurer en temps réel le poids du pot à l'aide d'un capteur de charge (Load Cell).

Détecter l'atteinte de la masse programmée.

Ouvrir et fermer la vanne de remplissage automatiquement.

Déplacer le système de remplissage à l'aide de deux moteurs pas à pas.

Permettre le réglage de la masse désirée par l'utilisateur.

Afficher les informations de fonctionnement sur un écran LCD.

3. Contraintes techniques

Alimentation : 12 V / 24 V selon les composants utilisés.

Précision de remplissage : ± 5 g (à adapter selon votre prototype).

Utilisation de deux moteurs pas à pas pour le déplacement du bras de remplissage.

Commande assurée par une carte Arduino Mega.

Structure résistante au contact avec le miel.

Facilité de maintenance et de nettoyage.

4. Critères de performance

Temps de remplissage réduit.

Bonne répétabilité des mesures.

Fonctionnement automatique et fiable.

Sécurité de l'utilisateur pendant le fonctionnement.

5. Composants principaux

Arduino Mega 2560.

Deux moteurs pas à pas.

Drivers de moteurs.

Cellule de charge + module HX711.

Écran LCD.

Réservoir de miel.

Système de vanne commandée.

Bras de déplacement.

II.11. Conclusion

Dans ce chapitre, une analyse fonctionnelle de la machine de remplissage du miel a été réalisée afin d'identifier clairement les besoins à satisfaire ainsi que les contraintes liées à son utilisation. Cette démarche a permis de définir la fonction principale du système, qui consiste à assurer un remplissage précis, fiable et hygiénique des contenants de miel.

L'étude a également permis d'identifier les différentes fonctions de service et les contraintes techniques, économiques et ergonomiques à prendre en considération lors de la conception. Les outils d'analyse fonctionnelle utilisés, notamment l'expression du besoin, le diagramme pieuvre et le cahier des charges fonctionnel, ont contribué à structurer les exigences du projet et à établir une base solide pour les choix technologiques futurs.

Ainsi, les résultats obtenus dans ce chapitre constituent une étape essentielle pour la suite du travail. Ils serviront de référence pour la sélection des composants, l'élaboration de l'architecture du système et la conception détaillée de la machine de remplissage du miel présentées dans les chapitres suivants

Chapitre III :LaTechnologie



III.1. Introduction

Le passage de l'étude fonctionnelle et théorique d'un système de remplissage et de distribution de miel à sa phase de réalisation matérielle nécessite une étude technologique approfondie et exhaustive des composants et des systèmes disponibles sur le marché industriel. La conception d'une remplisseuse automatisée dédiée à un produit présentant des propriétés rhéologiques complexes, telles qu'une viscosité élevée et une sensibilité à la cristallisation, impose des contraintes technologiques strictes. Celles-ci exigent une rigueur extrême dans le choix des éléments mécaniques, électriques et des systèmes de commande numérique.

Ce chapitre vise à présenter un panorama technologique complet et une analyse technique rigoureuse des différents composants et systèmes qui constituent l'infrastructure de base des machines de remplissage modernes. Nous y passerons en revue les choix technologiques disponibles, allant des réservoirs de stockage conçus selon les normes de l'industrie agroalimentaire, aux différents types de moteurs électriques (moteurs pas à pas, moteurs à courant continu et moteurs asynchrones) qui garantissent un mouvement mécanique précis. De plus, l'accent sera mis sur l'architecture des systèmes de commande numérique, à travers une étude comparative des performances des processeurs et des microcontrôleurs, tels que les automates programmables industriels (API/PLC), les microcontrôleurs (PIC) et la famille (STM32).

En outre, ce chapitre se focalise sur l'étude des capteurs en tant qu'éléments essentiels à la collecte de données, notamment les capteurs de pesage (capteurs de charge) associés au principe de dosage pondéral, ainsi que les capteurs de niveau et infrarouges. Les interfaces d'affichage et d'interaction (afficheurs), telles que les écrans LCD et OLED, seront également abordées. Enfin, une analyse comparative sera menée entre les systèmes hydrauliques/pneumatiques et les systèmes électriques, tout en examinant les différents modes de remplissage (volumétrique, pondéral et pondéral-débitmétrique).

Cette analyse technologique méthodique nous fournira une base scientifique et technique solide et justifiée, nous permettant de prendre les décisions d'ingénierie adéquates et de

sélectionner les composants les plus appropriés pour notre prototype, ce qui sera détaillé dans le quatrième chapitre consacré à la solution proposée et à la réalisation.

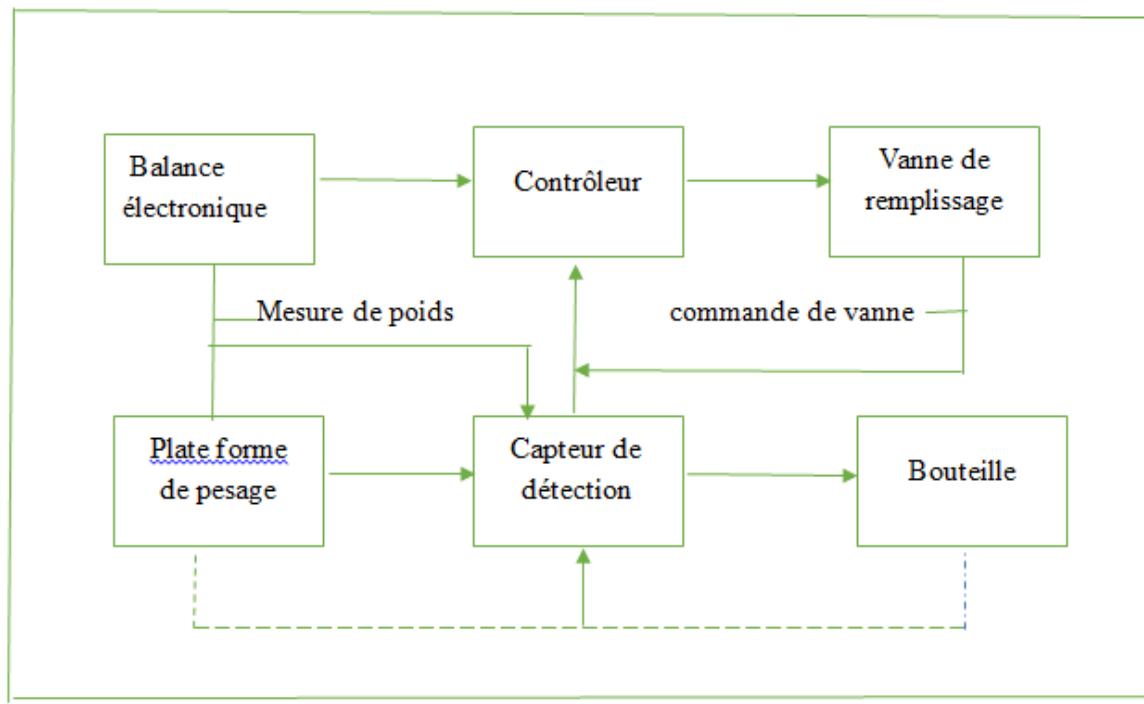


Figure 18: D'ensemble des différents composants de la machine.

III.2. Principaux composants d'une machine de remplissage

Le système utilisé dans les machines de remplissage se compose de plusieurs composants qui fonctionnent ensemble afin d'assurer une opération de remplissage précise, avec un contrôle rigoureux du processus, tout en garantissant une utilisation simple et rapide [40].

Les machines de remplissage diffèrent en termes de forme, de taille et d'utilisation selon leur type, mais elles partagent généralement des éléments de base communs. Cette partie présente en détail les composants d'un système typique de machine de remplissage, qui peuvent être classés en systèmes mécaniques, réservoir, systèmes électriques et systèmes de commande [41].

III.2.1. Réservoir

Les cuves de stockage sont des réservoirs industriels dédiés, conçus pour stocker en toute sécurité de grandes quantités de produits après leur transformation, mais avant leur emballage et leur distribution. Elles constituent une interface essentielle entre les différentes étapes du processus de production et la mise sur le marché [42].

Ces réservoirs ne sont pas de simples contenants, mais de véritables systèmes assurant la gestion de la qualité du produit. Leur rôle principal est de préserver les propriétés physiques, chimiques et biologiques des produits stockés, tout en offrant une flexibilité opérationnelle dans l'organisation de la production [43].

Des études montrent que la conception des réservoirs de stockage doit répondre à des exigences strictes en matière de matériaux, d'hygiène, de résistance mécanique et de sécurité, notamment dans l'industrie agroalimentaire où les normes sanitaires sont particulièrement rigoureuses [2].

Il existe également deux types de réservoirs : les réservoirs démontables et les réservoirs indémontables.



Figure 19: Réservoir inox.

III.2.2. Moteur

Le moteur est un dispositif électromécanique capable de transformer une énergie non mécanique (électrique, chimique ou thermique) en énergie mécanique sous forme de mouvement rotatif ou linéaire [48].

On distingue principalement :

- Le moteur électrique, alimenté par l'énergie électrique,

- Le moteur thermique, fonctionnant à partir d'un combustible [50].

III.2.2.1.Moteur pas à pas

Le moteur pas à pas est un actionneur électromécanique fonctionnant à partir de signaux électriques discrets. Il convertit des impulsions numériques en déplacements angulaires précis, ce qui permet un contrôle fin de la position et de la vitesse [44].

Ce type de moteur est largement utilisé en automatisation, robotique et machines-outils, notamment pour les systèmes nécessitant un positionnement précis en boucle ouverte [50].

III.2.2.2. Moteur à courant continu

Le moteur à courant continu est un convertisseur électromécanique réversible capable de transformer l'énergie électrique en énergie mécanique, et inversement en mode générateur [50].

Il est utilisé dans les systèmes industriels nécessitant un contrôle précis de la vitesse et un couple élevé au démarrage, tels que les convoyeurs, robots et systèmes de levage [44].

III.2.2.3.Moteur asynchrone

Le moteur asynchrone est un moteur à courant alternatif dont la vitesse de rotation du rotor est légèrement inférieure à celle du champ tournant du stator [49].

Il est largement utilisé dans l'industrie pour entraîner les pompes, ventilateurs, compresseurs, convoyeurs et machines de production, grâce à sa robustesse, son faible coût et sa faible maintenance .

III.2.3.Commande du système

Le contrôle d'une machine de remplissage automatique de miel repose sur une architecture électronique basée sur des microcontrôleurs tels qu'Automate programmable industriel et PIC (Microchip Technology) permettant une gestion automatisée et précise du processus [52].

Ces systèmes utilisent des capteurs de poids, de niveau et infrarouges afin de mesurer respectivement la masse, le volume et la présence des contenants. L'interface utilisateur est généralement assurée par un écran LCD ou OLED permettant un affichage en temps réel des paramètres du système .

III.2.3.1. Microcontrôleurs

Un microcontrôleur, également appelé μC ou MCU, est un circuit intégré indépendant qui combine sur une unique puce les composants cruciaux d'un ordinateur miniature, destiné à gérer une fonction ou un système électronique particulier.[55]

Pour notre système, on retrouve :

- Automate programmable (PLC)
- PIC (Microchip Technology)

III.2.3.1.1. Automate programmable (PLC)

Un automate programmable industriel (PLC), aussi appelé automate programmable industriel, est un ordinateur robuste et programmé pour gérer automatiquement les processus industriels à travers le traitement séquentiel. Il lit les données des capteurs (entrées), exécute un programme logique et commande les actionneurs (sorties). [53] Dans les équipements de remplissage du miel, il coordonne le dosage, le transport et les alertes, remplaçant efficacement les prototypes Arduino lors de la production concrète.



Figure 20: Automate programmable Industriel

III.2.3.1.2. PIC (Microchip Technology)

Les microcontrôleurs PIC de Microchip Technology représentent une option fiable et éprouvée pour les applications industrielles, comme illustré dans l'étude comparative des

microcontrôleurs. Grâce à leur architecture RISC de 8, 16 ou 32 bits, associée à une consommation d'énergie réduite et une grande résistance aux perturbations électromagnétiques, ils sont parfaitement adaptés pour le contrôle précis des pompes, vannes et capteurs de niveau dans les équipements de remplissage de miel agroalimentaires. Des modèles comme le PIC16F ou PIC18F proposent des périphériques intégrés (ADC multicanaux, PWM, UART/SPI) qui conviennent au dosage visqueux. Ils se distinguent par leur fiabilité certifiable (IP65, températures extrêmes) et un écosystème de développement MPLAB X, surpassant des prototypes de loisir tels que l'ESP32 pour une production continue.[54]

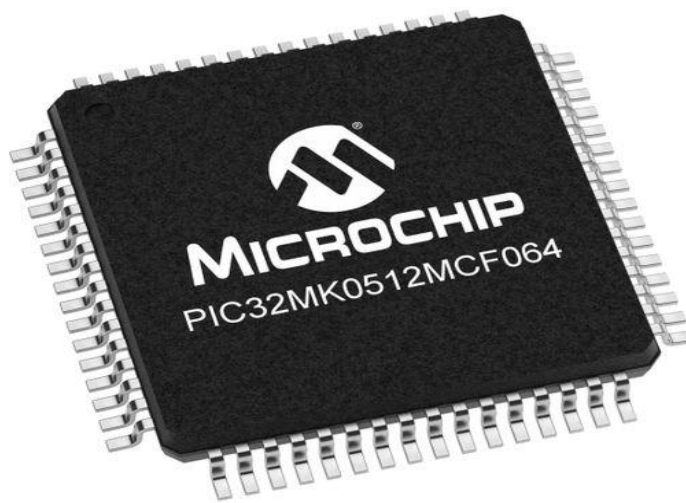


Figure 21: PIC (Microchip Technology)

III.2.3.1.3.STM32 (ST Microelectronics)

Les microcontrôleurs STM32 de STMicroelectronics représentent une gamme complète de circuits intégrés 32 bits fondés sur les cœurs ARM Cortex-M (M0+, M3, M4, M7). Ils offrent des performances remarquables allant jusqu'à 550 DMIPS, une consommation d'énergie optimisée (jusqu'à 49 nA en mode veille pour la série U0) et sont dotés d'une vaste sélection de périphériques intégrés tels que les ADC 16 bits, les minuteries avancées, les interfaces USB/Ethernet/CAN ainsi que les accélérateurs IA pour l'IoT dans le domaine industriel, médical et d'automatisation. [54]

Les microcontrôleurs STM32 pilotent efficacement les machines de remplissage de miel en gérant les pompes, capteurs de niveau et dosage précis via leurs timers PWM et ADC performants.

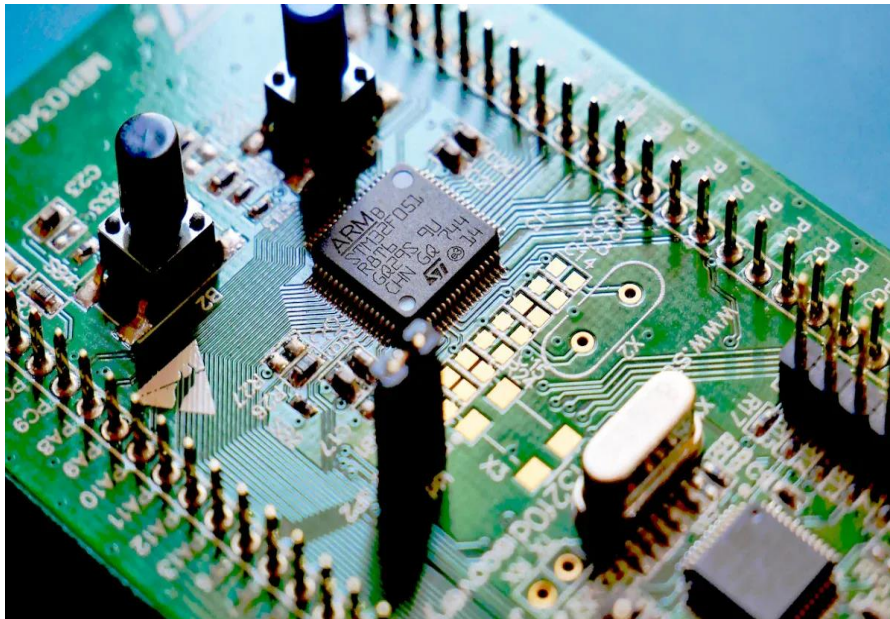


Figure 22: STM32 (ST Microelectronics)

III.2.3.2. Les capteurs

Un capteur est un dispositif capable de transformer une grandeur physique mesurée (force, température, position, niveau, etc.) en un signal exploitable, généralement électrique. Ce signal peut ensuite être traité par un système électronique ou informatique. Les capteurs constituent les éléments fondamentaux des systèmes d'acquisition de données et jouent un rôle essentiel dans l'instrumentation industrielle et les systèmes automatisés [56].

Dans notre système de remplissage de miel, plusieurs types de capteurs sont utilisés :

- Capteur de charge
- Capteur de niveau
- Capteur infrarouge

III.2.3.2.1. Capteur de charge

Un capteur de pesage (ou capteur de charge) est un dispositif électronique permettant de convertir une force ou un poids en un signal électrique proportionnel. Son

fonctionnement repose principalement sur les jauges de contrainte, dont la résistance électrique varie en fonction de la déformation mécanique appliquée [57].

On distingue plusieurs technologies de capteurs de charge :

- Les capteurs à jauges de contrainte, utilisant la déformation mécanique,
- Les capteurs piézoélectriques, basés sur la génération d'une charge électrique sous pression,
- Les capteurs capacitifs, exploitant la variation de capacité électrique en fonction de la force appliquée [58].

Ces capteurs sont largement utilisés dans les systèmes industriels nécessitant une mesure précise du poids, notamment dans les machines de remplissage.

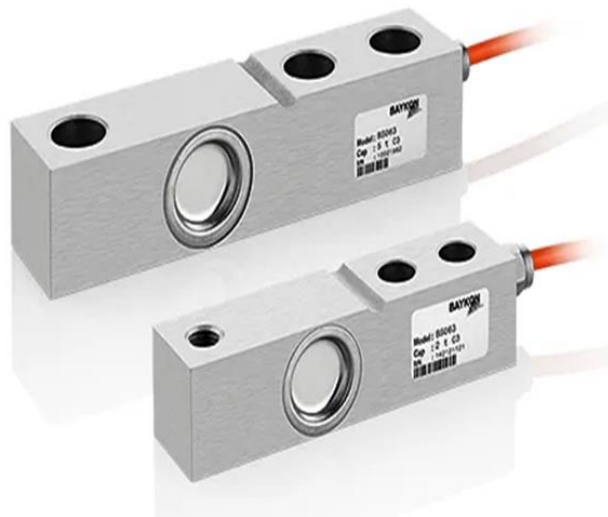


Figure 23: Capteur de charge.

III.2.3.2. Capteur de niveau

Les capteurs de niveau sont des dispositifs utilisés pour mesurer la hauteur d'un fluide ou d'un matériau solide à l'intérieur d'un réservoir. Ils permettent d'estimer la quantité de matière stockée en se basant sur différents principes physiques de mesure. Le signal obtenu est ensuite converti en une grandeur électrique (analogique ou numérique) et transmis à une unité de traitement pour analyse et prise de décision [53].

Ces capteurs jouent un rôle essentiel dans les systèmes automatisés, notamment pour la gestion des stocks, le contrôle des procédés industriels et la sécurité des installations. Ils permettent également de générer des alertes en cas de niveau trop bas ou trop élevé [57].



Figure 24: Capteur de niveau.

III.2.3.2.3. Capteur infrarouge

Le capteur infrarouge est un dispositif capable de détecter le rayonnement infrarouge émis par les objets et de le convertir en signal électrique exploitable. Il est largement utilisé dans les systèmes de surveillance, d'automatisation et de contrôle environnemental en raison de sa simplicité, sa fiabilité et sa faible consommation énergétique [56]. Le principe de fonctionnement repose sur la détection du rayonnement infrarouge émis par les sources thermiques. Cette détection est assurée par des photodiodes infrarouges ou des capteurs pyroélectriques. Le signal obtenu est généralement de faible amplitude et doit être amplifié puis converti en signal numérique pour être exploité par un système de contrôle ou de traitement [61].

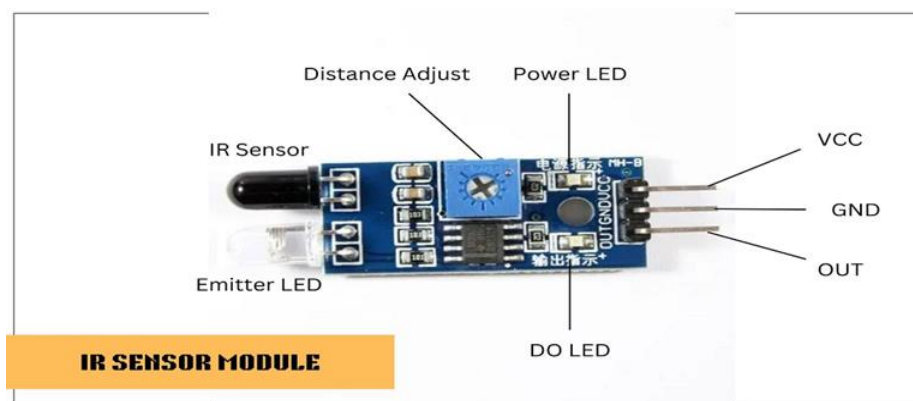


Figure 25: Un capteur infrarouge.

III.2.3.3.Les afficheurs

Un afficheur (ou organe d'affichage) est un dispositif permettant de rendre visibles des informations sous forme de textes, chiffres, symboles ou images sur un écran ou un panneau. Il constitue une interface homme-machine essentielle dans les systèmes électroniques et automatisés, facilitant l'interprétation et la supervision des données du système [44].

Dans notre système de remplissage de miel, plusieurs types d'afficheurs peuvent être utilisés :

- Afficheur LCD
- Afficheur 7 segments
- Afficheur OLED 0.96 pouce

III.2.3.3.1.Afficheur LCD

L'afficheur LCD (Liquid Crystal Display) est une interface visuelle permettant la communication entre un système électronique et l'utilisateur. Il joue le rôle d'organe de sortie en affichant les informations essentielles issues du système [61]. Il peut être interfacé avec une carte Arduino soit en mode parallèle (4 ou 8 bits : D4–D7, RS, E, V0), soit via le protocole I2C utilisant seulement deux lignes (SDA/SCL), ce qui simplifie le câblage [66].

L'afficheur LCD présente plusieurs avantages :

- Faible coût,
- Faible consommation énergétique (2 à 8 mA),
- Facilité d'intégration dans les systèmes embarqués.

Cependant, il présente aussi certaines limitations :

- Temps de réponse relativement lent,
- Angle de vision limité,
- Contraste nécessitant un réglage manuel .



Figure 26 : Exemple d'un afficheur LCD

III.2.3.3.2. Afficheur 7 segments

Un afficheur à 7 segments est un composant électronique permettant d'afficher les chiffres de 0 à 9 à l'aide de segments lumineux contrôlés individuellement. Chaque chiffre est obtenu par la combinaison de segments allumés ou éteints [44]. Il peut être interfacé avec une carte Arduino soit directement via 7 broches de commande, soit à travers un registre à décalage tel que le 74HC595 utilisant une communication de type SPI, ce qui réduit le nombre de broches utilisées [60].

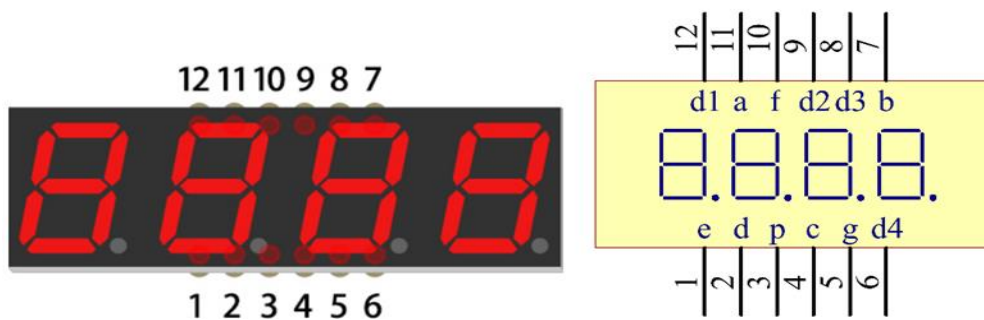


Figure 27: Un afficheur 7 segments.

Ses principales caractéristiques sont :

- tension d'alimentation faible (3–5 V),
- disponibilité en version anode commune ou cathode commune,
- grande robustesse et durabilité,
- faible coût et simplicité d'utilisation.

Cependant, il présente certaines limitations :

- affichage limité aux chiffres,
- incapacité à afficher du texte complexe ou des symboles avancés [44].

III.2.3.3. Afficheur OLED 0.96 pouces

L'écran OLED 0.96 pouces est un afficheur graphique compact basé sur la technologie organique électroluminescente, offrant une haute qualité d'affichage avec un contraste élevé et une excellente lisibilité [60]. Il est très utilisé dans les systèmes embarqués tels que Arduino, ESP32 et Raspberry Pi.

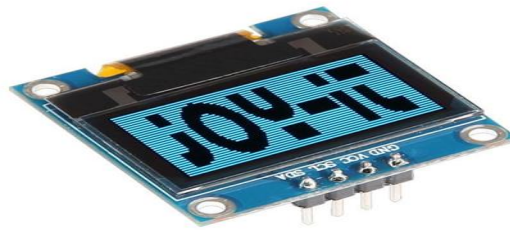


Figure 28 : Afficheur oled 0.96 pouces.

Il est généralement piloté par le contrôleur SSD1306 et peut communiquer via I2C (4 broches) ou SPI (7 broches), ce qui lui permet une grande flexibilité d'intégration [58].

Ses avantages principaux sont :

- excellent contraste et qualité d'image,
- faible consommation énergétique,
- large angle de vision,
- capacité d'affichage graphique et texte.

Cependant, il présente certaines limites :

- coût relativement élevé,
- consommation variable selon le nombre de pixels actifs,
- fragilité relative,
- durée de vie limitée comparée à d'autres technologies d'affichage [60].

III. 3.Système de remplissage

III.3.1.Système pneumatique

Le système pneumatique est largement utilisé dans les machines de remplissage pour générer un mouvement mécanique à partir de l'air comprimé. L'air est comprimé à l'aide d'un compresseur, puis acheminé à travers un réseau de conduites vers les différents composants du système [43].

Le flux d'air est contrôlé par des organes de distribution tels que les distributeurs, les régulateurs de pression et les vannes, permettant ainsi de piloter avec précision les actionneurs pneumatiques. Ces derniers, notamment les vérins, assurent des fonctions essentielles dans la machine de remplissage, telles que l'ouverture et la fermeture des vannes, le déplacement du produit ou encore le positionnement des éléments mécaniques [31]. L'utilisation de la pneumatique présente plusieurs avantages, notamment une grande rapidité d'exécution, une simplicité de conception et une bonne fiabilité. Elle est particulièrement adaptée aux environnements industriels nécessitant des systèmes robustes, propres et faciles à entretenir [45]. Grâce à ce système, la machine de remplissage offre une bonne rapidité d'exécution, une facilité de commande et une précision dans l'opération de remplissage.

Voici quelques éléments clés du système pneumatique dans la machine de remplissage

- Moteur
- La pompe
- Compresseur
- Vérin
- Vanne

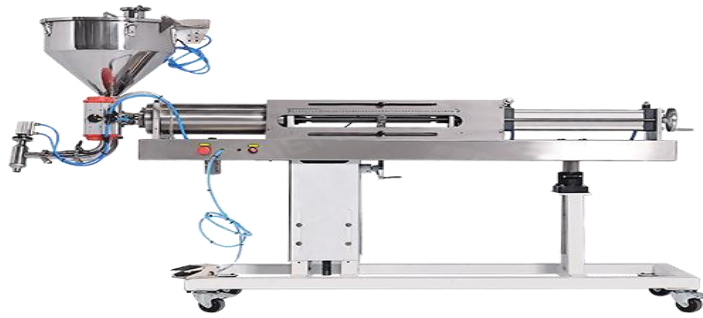


Figure 29 : Machine de remplissage pneumatique industrielle.

III.3.1. Système électrique

Le système électrique est l'un des systèmes les plus importants dans l'industrie et l'ingénierie moderne, car il utilise l'énergie électrique pour contrôler le mouvement et faire fonctionner les machines et équipements avec une grande efficacité. Ce système fonctionne en convertissant l'énergie électrique en énergie mécanique via des moteurs électriques, ou en contrôlant des signaux électriques pour actionner des électrovannes, des pompes et des instruments de mesure. Ses systèmes se caractérisent par une grande précision et une réponse rapide, permettant de contrôler facilement la vitesse, la direction et la force grâce aux circuits de commande électriques et aux microcontrôleurs. De plus, le système électrique permet de surveiller le fonctionnement à distance et opère avec une grande efficacité sans nécessiter de pression d'air externe.

Voici quelques éléments clés du système pneumatique dans la machine de remplissage

- Moteur
- vanne
- Câblage
- Cylindre



Figure 30 : Machine de remplissage électrique.

III.4. Types de remplissage

Le remplissage désigne le principe technique ou la méthode utilisée par la machine pour introduire une quantité précise de produit dans un récipient. Il constitue un paramètre fondamental dans la conception et le fonctionnement des machines de remplissage, car il influence directement le transfert du produit depuis le réservoir vers le contenant, ainsi que la précision du dosage, la répétabilité de l'opération, la cadence de production et l'efficacité globale du système [43].

Le choix du type de remplissage dépend de plusieurs facteurs liés aux caractéristiques physico-chimiques du produit, notamment sa viscosité, sa densité, sa fluidité et son homogénéité, ainsi que des exigences industrielles en termes de précision, de rapidité et de qualité .

Dans l'industrie, plusieurs méthodes de remplissage sont couramment utilisées. Parmi les plus répandues, on distingue :

- Le remplissage volumétrique, basé sur la délivrance d'un volume constant de produit,
- Le remplissage pondéral, fondé sur la mesure de la masse,
- Le remplissage gravitaire, utilisant l'écoulement naturel sous l'effet de la gravité,
- Le remplissage débitmétrique, reposant sur la mesure du débit,
- Le remplissage temporisé, contrôlé par le temps d'écoulement [46].

La sélection du procédé approprié dépend étroitement des propriétés du produit et du niveau de contrôle requis dans le processus. Pour les produits visqueux tels que le miel, ce choix est particulièrement critique, car il conditionne la précision du remplissage, la réduction des pertes et la qualité finale du produit .

III.4.1.Remplissage pondéral

Le remplissage pondéral, également appelé remplissage en poids, est une méthode de dosage basée sur la mesure directe de la masse du produit introduit dans le contenant. Contrairement aux méthodes volumétriques, ce procédé garantit une grande précision, indépendamment des variations de densité ou de viscosité du produit [43].

Le fonctionnement repose généralement sur un système de pesage électronique. Le contenant vide est d'abord positionné sur une balance afin d'effectuer une tare. Ensuite, le remplissage est initié, et le poids est mesuré en continu jusqu'à atteindre la valeur programmée. Une fois cette valeur atteinte, le système interrompt automatiquement l'écoulement du produit [45].

Ce type de remplissage présente également des avantages importants en matière d'hygiène, puisque les capteurs de pesée ne sont pas en contact direct avec le produit. Cela réduit les risques de contamination et facilite les opérations de nettoyage et de maintenance .

Dans le cas spécifique du miel, le remplissage pondéral constitue une solution particulièrement adaptée. En effet, il permet de compenser les variations de viscosité liées à la température et aux propriétés rhéologiques du produit, garantissant ainsi un dosage précis, constant et fiable, tout en assurant une qualité optimale du produit final.



Figure 31: Remplisseuse Électronique Pondérale

III.4.2. Remplissage volumétrique

Le système de remplissage volumétrique est une méthode de dosage basée sur la mesure précise du volume de produit distribué dans chaque récipient. Il constitue l'une des techniques les plus utilisées dans les industries agroalimentaires et pharmaceutiques en raison de sa simplicité de conception, de sa robustesse et de sa bonne répétabilité [45].

Ce procédé repose sur le contrôle direct du volume injecté, indépendamment de la masse du produit. Il utilise différents mécanismes de dosage, tels que les cylindres volumétriques, les systèmes à piston, les pompes péristaltiques ou encore les distributeurs rotatifs, permettant d'assurer un remplissage régulier et reproductible .

Le principe de fonctionnement consiste à aspirer un volume prédéterminé de produit puis à le transférer vers le récipient à remplir. Ce volume est ajusté en fonction des exigences de production, garantissant ainsi une bonne uniformité entre les contenants et une cadence stable du processus [43].

Ce type de remplissage est particulièrement adapté aux produits liquides ou semi-liquides présentant une viscosité relativement stable. Toutefois, la précision du système peut être influencée par des variations de température, de densité ou de compressibilité du produit, ce qui peut introduire de légères erreurs de dosage dans certains cas industriels [45]. Dans le cas des produits visqueux comme le miel, le remplissage volumétrique nécessite donc un contrôle rigoureux des paramètres de fonctionnement afin de garantir une précision acceptable et une stabilité du processus de production .



Figure 32: Remplissage volumétrique.

III.4.3. Remplissage débit métrique

Le procédé de remplissage débit métrique consiste à installer un débitmètre au niveau du système de remplissage afin de mesurer en continu le débit massique ou volumique du produit lors de son transfert vers le contenant. Ce système permet un contrôle précis et automatisé de la quantité distribuée, en fonction des paramètres définis dans le système de commande [43].

Le fonctionnement repose sur une mesure en temps réel du débit du produit. L'écoulement est régulé automatiquement et s'interrompt dès que la quantité programmée est atteinte, garantissant ainsi une bonne répétabilité du processus et une réduction des erreurs de dosage [46].

Ce type de remplissage est couramment utilisé pour les liquides et semi-liquides tels que le miel, les huiles ou les sirops. Il peut être intégré à un automate programmable industriel (API/PLC), permettant ainsi la synchronisation avec les autres étapes de la ligne de production et l'optimisation du processus global de conditionnement [44].

Toutefois, afin de garantir la précision des mesures, un étalonnage régulier du débitmètre est indispensable. De plus, un suivi périodique du système est nécessaire pour éviter les dérives de mesure et assurer une qualité constante du remplissage [47].

Ce procédé est particulièrement adapté aux produits visqueux comme le miel, car il permet une gestion précise du dosage tout en réduisant les pertes de matière. Dès que la valeur programmée est atteinte, le système de commande envoie un signal d'arrêt

automatique, ce qui limite les interventions humaines et améliore la fiabilité et la reproductibilité du processus industriel .

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes technologies disponibles dans le domaine des machines de remplissage de miel. Une analyse détaillée des principaux composants et systèmes a été réalisée, notamment le système de remplissage, le système d'alimentation, les dispositifs de commande, ainsi que les éléments de détection et d'affichage.

Cette étude a permis de mettre en évidence les solutions technologiques existantes ainsi que leurs caractéristiques principales, afin de mieux orienter le choix des composants les plus adaptés à notre application. Elle constitue ainsi une base essentielle pour la conception et la réalisation de la machine de remplissage de miel.

Les éléments retenus et les choix techniques effectués seront détaillés et justifiés

Chapitre IV :Solution proposée et réalisation

IV.1.introduction

Sur la base de l'analyse fonctionnelle et de l'étude des technologies de la machine de remplissage, ce chapitre vise à déterminer les différents composants nécessaires à la conception de notre machine de remplissage du miel. Le choix de ces éléments sera réalisé en prenant en considération les fonctions recherchées ainsi que les contraintes techniques et d'exploitation à respecter.

IV.2. Principe de fonctionnement

La machine de remplissage de miel fonctionne selon un principe de dosage automatique basé sur un système de pesage électronique associé à un mécanisme de remplissage à piston. Au début de l'opération, l'opérateur met en marche le système et introduit la valeur de référence (P_f), correspondant au poids de miel souhaité dans chaque bouteille. Une bouteille vide est ensuite placée sur la plateforme de pesage, où la balance effectue automatiquement une tare afin de ne mesurer que la quantité de miel ajoutée.

Après la validation de la position de la bouteille par le système, le cycle de remplissage commence. La machine est équipée de deux moteurs : le premier moteur actionne le piston, tandis que le second commande l'ouverture et la fermeture de deux vannes. Dans un premier temps, la vanne reliant le réservoir au piston s'ouvre afin de permettre l'aspiration du miel depuis le réservoir. Simultanément, le piston recule pour aspirer la quantité de miel nécessaire. Une fois cette phase terminée, la première vanne se ferme automatiquement et la seconde vanne, située entre le piston et la buse de remplissage, s'ouvre.

Le premier moteur actionne alors le piston dans le sens opposé pour refouler le miel vers la bouteille à travers la buse de remplissage. Durant toute l'opération, la cellule de charge mesure en continu le poids du miel versé et transmet la valeur mesurée (P_m) au système de commande.

Le contrôleur compare en permanence la valeur mesurée (P_m) à la valeur de consigne (P_f) avec une tolérance de ± 1 g. Dès que le poids atteint la plage définie ($P_f \pm 1$ g), le système arrête automatiquement le remplissage en fermant la vanne de sortie et en arrêtant le mouvement du piston. Cette méthode garantit un remplissage précis, fiable et répétitif, tout en réduisant les pertes de produit et en assurant une qualité constante des bouteilles remplies.

IV.3 .Architecture du système adopté

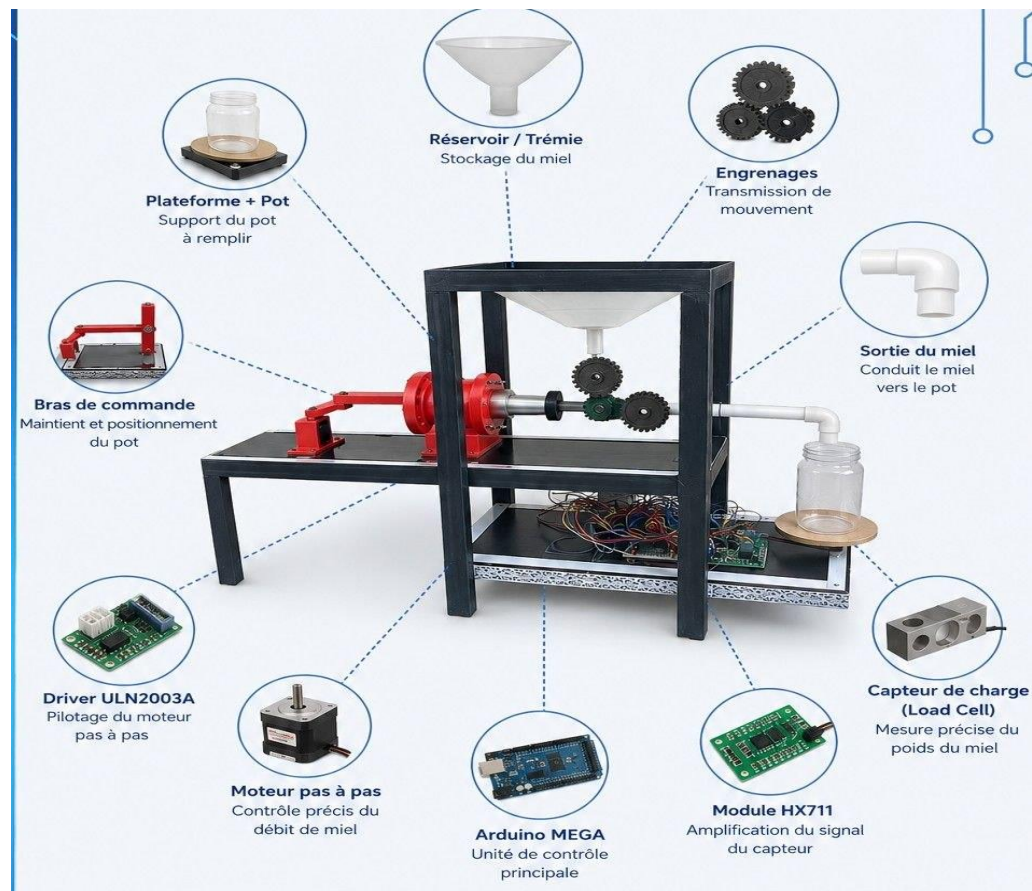


Figure 33 : Composants et architecture du système adopté

La figure33 représente l'architecture générale du système adopté pour la machine de remplissage du miel . Le système adopté pour la machine est constitué d'un ensemble de composants mécaniques, électroniques et de commande travaillant de manière intégrée afin d'assurer un remplissage précis et automatisé. L'architecture du système repose sur une trémie de stockage contenant le miel, un mécanisme de dosage entraîné par un moteur pas à pas à travers un système d'engrenages, un conduit d'écoulement permettant le transfert du miel vers le récipient, ainsi qu'une plateforme de pesage équipée d'une cellule de charge (Load Cell) pour mesurer en temps réel la quantité de miel remplie.

La partie commande est assurée par une carte Arduino qui reçoit les informations du capteur de poids via le module HX711 et pilote le moteur pas à pas à travers son driver ULN2003A. Un afficheur LCD est utilisé pour visualiser les paramètres et les informations de fonctionnement, tandis que des boutons de commande permettent à l'utilisateur de lancer et contrôler le processus de remplissage. L'ensemble de ces composants forme une architecture simple, fiable et adaptée aux besoins des petits producteurs de miel

IV.4.partie commande

IV.4.1.Les composant choisis

IV.4.1.1. Carte Arduino méga

La carte Arduino Mega 2560 est une carte à microcontrôleur basée sur un ATmega2560. Cette carte dispose :

- de 54 broches numériques d'entrées/sorties (dont 14 peuvent être utilisées en sorties PWM (MLI : Modulation de largeur d'impulsion)).
- de 16 entrées analogiques (qui peuvent être utilisées en broches entrées/sorties numériques).
- de 4 UART (port série matériel).
- d'un quartz de 16Mhz.
- d'une connexion USB.
- d'un connecteur d'alimentation jack.
- d'un connecteur ICSP (programmation "in-circuit").
- d'un bouton de réinitialisation (reset).

Elle contient tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du microcontrôleur ; Pour pouvoir l'utiliser, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB

(ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une pile, mais ceci n'est pas indispensable, l'alimentation étant fournie par le port USB). La carte Arduino Mega 2560 est compatible avec les circuits imprimés prévus pour les cartes Arduino Uno, Duemilanove ou Diecimila.[62]

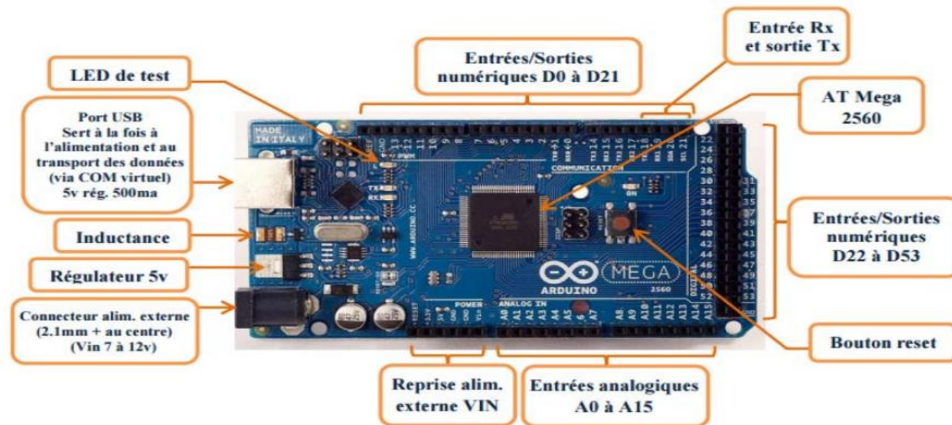


Figure 34: Description de la carte Arduino MEGA 2560

Un module Arduino est généralement construit autour d'un microcontrôleur ATMEL AVR, et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. Chaque module possède au moins un régulateur linéaire 5V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Le microcontrôleur est préprogrammé avec un bootloader de façon à ce qu'un programmeur dédié ne soit pas nécessaire.[62]

IV.4.1.2. Capteur de charge

Le capteur de charge est crucial dans les dispositifs de pesage, garantissant une évaluation précise du poids en direct. En s'intégrant au processus de remplissage, il offre un moyen fiable pour vérifier la quantité de produit. Il assure une sensibilité élevée et une précision optimale grâce à sa technologie basée sur des jauges de contrainte. Cela en fait donc une solution appropriée pour les applications qui nécessitent une mesure précise, comme le conditionnement du miel.

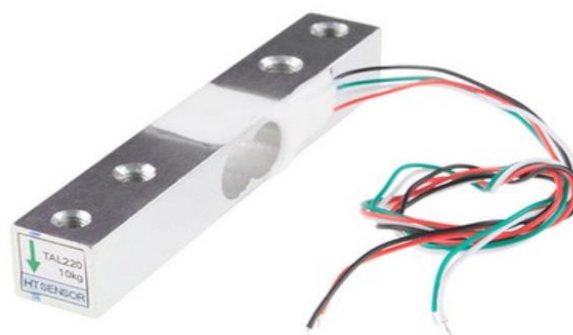


Figure 35: Capteur de charge

Chapitre IV : Solution proposée et réalisation

Tableau 5 : Les caractéristiques du capteur de charge

Caractéristique	Description
Type	Capteur de charge à jauges de contrainte (barre)
Forme	Barre en aluminium avec zone de flexion centrale
Matériau	Alliage d'aluminium
Principe de fonctionnement	Déformation mécanique → variation de résistance → signal électrique
Capacité de mesure	Généralement 1 kg à 50 kg (selon modèle courant : 5 kg, 10 kg...)
Sensibilité	≈ 1 mV/V à 2 mV/V
Tension d'alimentation	5V à 10V (via amplificateur type HX711)
Signal de sortie	Signal analogique très faible (mV)
Nombre de fils	4 fils (Rouge, Noir, Vert, Blanc)
Connexion typique	Pont de Wheatstone
Précision	Élevée (erreur faible, adaptée au pesage)
Montage	Fixé à une base + plateforme de pesage
Applications	Balance électronique, machine de remplissage, dosage pondéral
Avantages	Bonne précision, faible coût, facile à intégrer
Inconvénients	Nécessite amplification (HX711), sensible aux vibrations

Module HX711

Le HX711 est un convertisseur analogique-numérique (CAN) spécialement conçu pour les systèmes de pesage électronique. Il est utilisé pour convertir les faibles signaux analogiques provenant d'une cellule de charge en données numériques exploitables par un microcontrôleur. Grâce à son amplificateur intégré à haute précision, il permet de mesurer le poids avec une grande exactitude. Le module HX711 est largement utilisé dans les balances électroniques, les systèmes de dosage et les dispositifs de mesure de masse. Il communique avec les microcontrôleurs, tels qu'Arduino, à travers une interface série simple composée des broches DT (Data) et SCK (Clock).[63]

Le module HX711 est utilisé dans la machine de remplissage du miel pour convertir les signaux de la cellule de charge en données numériques. Il permet à l'Arduino de mesurer avec précision le poids du miel et d'arrêter automatiquement le remplissage lorsque la quantité programmée est atteinte.

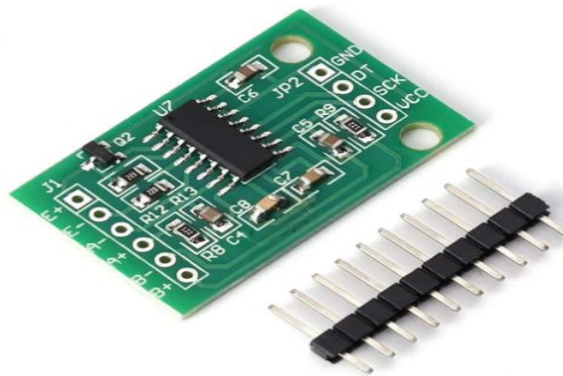


Figure 36: Module HX711[64]

IV.4.1.3.Afficheur LCD

L'afficheur LCD constitue l'interface utilisateur principale de la machine de remplissage de miel automatisée. Il permet d'afficher en temps réel les informations essentielles relatives au fonctionnement du système, telles que le poids mesuré, la quantité de miel distribuée ainsi que les différents messages d'état et de commande. Grâce à son interface I2C, le nombre de connexions nécessaires avec la carte Arduino est considérablement réduit, ce qui simplifie le câblage et améliore la fiabilité du système. Les caractéristiques d'afficheur LCD choisis :

Chapitre IV : Solution proposée et réalisation

Tableau 6 : Caractéristique d’afficheur LCD

Caractéristique	Description
Type	Afficheur LCD alphanumérique
Modèle	LCD 16×2 (16 caractères × 2 lignes
Interface	I2C (module adaptateur intégré)
Adresse I2C	0x27 (modifiable selon module)
Tension d’alimentation	5 V
Consommation	Faible (≈ 2 à 20 mA avec rétroéclairage)
Couleur d’affichage	Texte blanc/bleu (selon modèle)
Type de contrôleur	Compatible HD44780
Nombre de broches (I2C)	4 broches (VCC, GND, SDA, SCL)
Réglage du contraste	Potentiomètre intégré (bleu)
Rétroéclairage	LED avec contrôle ON/OFF
Communication	Série (réduit le câblage vs parallèle)
Compatibilité	Arduino, ESP32, Raspberry Pi, etc.
Avantages	Facile à utiliser, peu de fils, bon affichage
Inconvénients	Capacité d’affichage limitée et vitesse modérée

IV.4.1.4.Moteur

Tout appareil dont une partie peut se mettre en mouvement sous l'influence d'un courant électrique est un moteur électrique.

Chapitre IV : Solution proposée et réalisation

Le moteur pas à pas joue un rôle essentiel dans la machine de remplissage de miel en assurant un contrôle précis des mouvements mécaniques. Contrairement aux moteurs à courant continu, il se déplace par pas successifs, ce qui permet de positionner avec exactitude les différents éléments du système.

Dans cette machine, le moteur pas à pas est utilisé pour entraîner le mécanisme de dosage du miel et contrôler la quantité distribuée dans chaque récipient. Grâce à sa précision de positionnement, il contribue à améliorer l'exactitude du remplissage, à réduire les pertes de produit et à garantir l'uniformité des quantités remplies.

Le moteur est commandé par la carte Arduino à travers un module de commande adapté, permettant de régler la vitesse de rotation, le sens de déplacement et le nombre de pas effectués selon la quantité de miel désirée. Cette solution assure un fonctionnement fiable et répétitif, particulièrement adapté aux systèmes de remplissage automatisés.



Figure 37 :MPP

Driver moteur (ULN2003a ,L293D)

Le ULN2003a est principalement utilisé pour la commande des moteurs pas à pas de faible puissance, notamment le modèle 28BYJ-48. Il permet d'alimenter les bobines du moteur en amplifiant les signaux de commande, tout en assurant une commutation fiable et sécurisée. Grâce à ce driver, il est possible de contrôler avec précision le nombre de pas, la vitesse et le sens de rotation du moteur.

Chapitre IV : Solution proposée et réalisation

Le L293D, quant à lui, est un pont en H utilisé principalement pour la commande des moteurs à courant continu, mais il peut également être utilisé dans certaines configurations pour piloter des moteurs pas à pas bipolaires. Il permet de contrôler le sens de rotation et la vitesse, tout en intégrant des diodes de protection contre les surtensions générées par les moteurs.

L'utilisation de ces deux drivers permet donc d'assurer une commande flexible et adaptée selon le type de moteur utilisé dans le système, garantissant ainsi un fonctionnement précis et fiable de la machine de remplissage de miel.

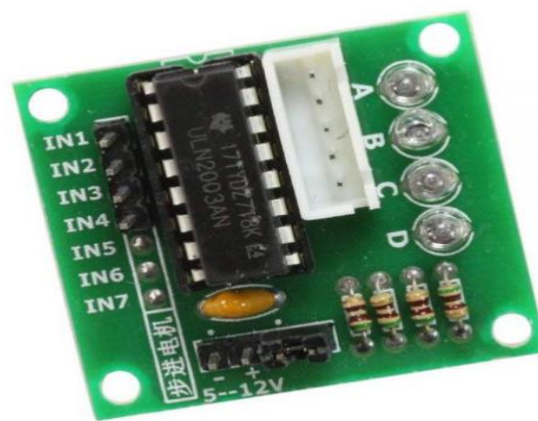


Figure 38: ULN2003A

IV.5.Partie mécanique

Dans ce qui suit le détail des composants utilisés :

IV.5.1.Réservoir

Le réservoir est un élément essentiel de la machine de remplissage du miel. Il permet de stocker le miel dans de bonnes conditions tout en le protégeant contre les impuretés et les agents extérieurs. Il peut être réalisé sous différentes tailles et formes afin de répondre aux besoins des utilisateurs.

Les cuves de stockage du miel sont des réservoirs industriels conçus pour conserver de grandes quantités de miel après sa transformation et avant son conditionnement. Elles assurent la liaison entre la phase d'extraction et la commercialisation, tout en préservant la qualité du produit grâce à la prévention de la cristallisation et de la fermentation [60].

Chapitre IV : Solution proposée et réalisation

La conception de ces cuves doit satisfaire plusieurs exigences techniques afin de garantir leur efficacité et leur durabilité. Parmi ces exigences figurent l'étanchéité, le mode d'assemblage ainsi que la résistance des matériaux utilisés dans leur fabrication [61].

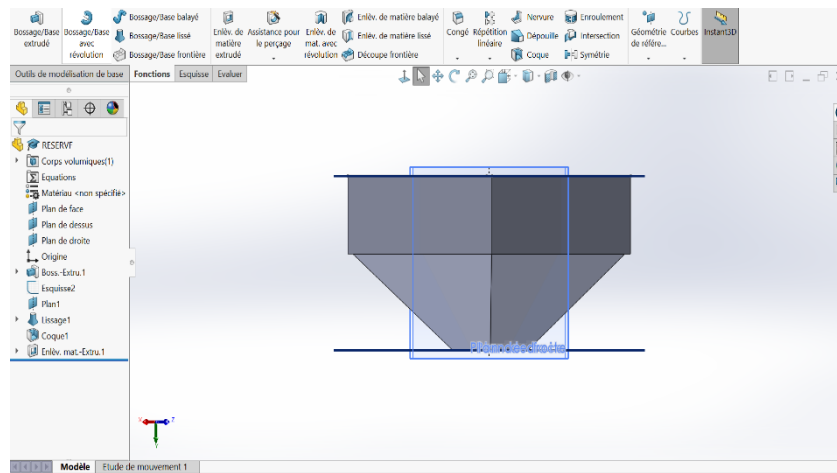


Figure 39 :Réservoir en 3d

IV.5.2 Châssis de la machine

Le châssis de la machine constitue la structure rigide porteuse, généralement en acier ou en aluminium, qui soutient tous les éléments mécaniques, moteurs et carrosseries d'un équipement industriel ou d'un véhicule. Il garantit la stabilité, la rigidité et la protection des composants, tout en absorbant les vibrations. [4]

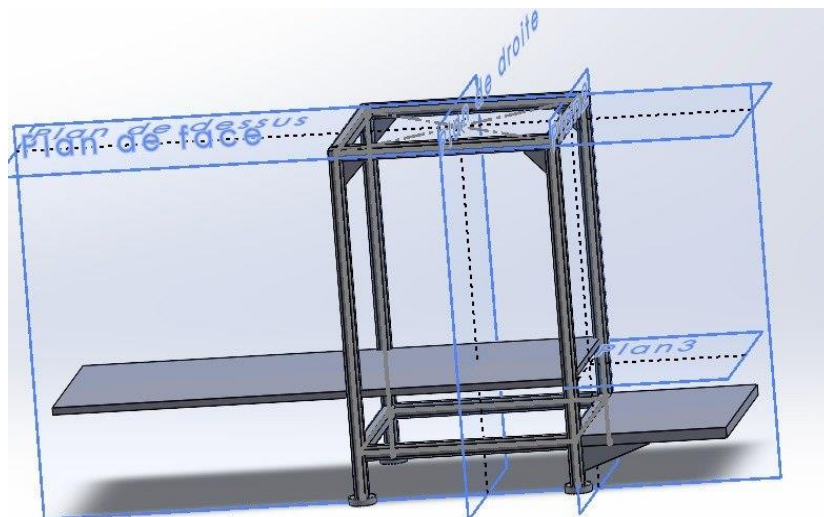


Figure 40 :modèle 3D du châssis

Après la réalisation :



Figure 41 : Un châssis

IV.5.3 Bras de commande

La deuxième partie que nous avons réalisée est le bras de commande, qui permet de transmettre le mouvement généré par le moteur au système de remplissage afin de contrôler l'ouverture et la fermeture du passage du miel et assurer ainsi une distribution précise du produit.



Figure 42 : Bras de commande

IV.5.3.La vanne de remplissage

La vanne de remplissage constitue un élément essentiel de la partie mécanique de la machine de remplissage de miel. Elle permet de contrôler le passage du miel depuis le réservoir de stockage vers les bouteilles de manière précise et contrôlée.

Dans ce système, la vanne agit comme un dispositif d'ouverture et de fermeture du flux. Elle est commandée de manière mécanique ou électromécanique afin d'assurer un dosage régulier et d'éviter les débordements ou les pertes de produit. Son rôle principal est donc de garantir un écoulement stable et adapté à la quantité souhaitée



Figure 43 : Une vanne

IV.6.Système de remplissage

IV.6.1.Système électrique

Parmi les deux principaux systèmes de remplissage utilisés dans les machines industrielles, à savoir le système électrique et le système pneumatique, le choix s'est porté sur le système électrique pour notre machine de remplissage du miel. Ce choix est motivé par sa simplicité d'intégration, sa précision de commande ainsi que sa compatibilité avec les composants électroniques adoptés dans notre système.

Dans cette machine, le système électrique constitue l'élément principal de commande et de fonctionnement. Il assure le contrôle automatique des différentes opérations de remplissage grâce à l'utilisation de plusieurs composants électroniques, notamment la carte Arduino Mega, le capteur de charge (Load Cell), le module HX711, l'afficheur LCD ainsi que le moteur pas à pas.

Chapitre IV : Solution proposée et réalisation

Le principe de fonctionnement repose sur la mesure en temps réel du poids du miel à l'aide du capteur de charge. Les informations recueillies sont ensuite transmises au module HX711 pour être amplifiées et converties, puis traitées par la carte Arduino Mega. En fonction du poids mesuré, l'Arduino commande le moteur pas à pas afin d'assurer l'ouverture et la fermeture de la vanne de remplissage avec une grande précision. Cette méthode permet d'obtenir un dosage précis, stable et répétitif tout en réduisant les pertes de produit.

Par ailleurs, le système électrique se distingue par sa simplicité de mise en œuvre, sa fiabilité et son faible coût de maintenance. Il offre également une grande flexibilité de programmation, permettant d'adapter facilement les paramètres de remplissage aux différents formats de contenants ainsi qu'aux exigences de production. De plus, l'intégration des composants électroniques améliore la précision du contrôle et facilite l'automatisation du processus de remplissage.

Ainsi, l'adoption du système électrique contribue à améliorer la qualité du conditionnement du miel, à augmenter la productivité et à garantir un fonctionnement sûr, efficace et économique de la machine.

IV.6.2.Type de remplissage

Le remplissage désigne le principe technique ou la méthode utilisée par la machine pour insérer une quantité précise de produit dans l'emballage ou le récipient à remplir.

Cet aspect est vu comme l'un des paramètres essentiels dans la conception et le fonctionnement des machines de remplissage, car il influence la façon dont le produit est déplacé du réservoir vers le récipient. Il affecte aussi directement la précision du dosage, la constance de l'opération de remplissage, la rapidité de production ainsi que l'efficacité globale du système. Le type de remplissage à choisir est influencé par divers facteurs techniques associés aux caractéristiques du produit, y compris sa viscosité, sa densité, sa fluidité, son homogénéité, ainsi que par les exigences de production concernant la précision, la rapidité et la qualité de remplissage désirée.

Dans l'industrie, on trouve divers types de remplissage, notamment le remplissage volumétrique, qui s'appuie sur la mesure d'un volume constant de produit, le remplissage pondéral, fondé sur la mesure de la masse ou du poids, le remplissage gravitaire, qui se fait sous l'influence de l'écoulement naturel du produit, et le remplissage temporisé, qui est conditionné par une durée précise d'écoulement de la matière. La sélection du type adéquat dépend des spécificités du produit à emballer et du degré de contrôle nécessaire dans la procédure.

Pour les produits visqueux tels que le miel, le choix d'un type de remplissage approprié est une étape cruciale pour assurer une quantité précise et uniforme dans chaque conteneur, tout en minimisant les erreurs ou les pertes durant le processus. Cette décision favorise également l'optimisation des performances de l'équipement, l'accroissement du rendement de fabrication et la garantie de la qualité finale du produit en accord avec les normes techniques et industrielles

IV.6.2.1.Remplissage pondéral

Le remplissage en poids est une méthode de dosage qui permet de maîtriser avec exactitude la quantité de produit versée dans chaque contenant. À la différence d'autres techniques de remplissage, ce procédé se base sur la mesure directe du poids avant et durant l'opération de remplissage, assurant ainsi une grande précision de dosage. Dans un premier temps, le contenant vide est positionné sur un dispositif de pesage pour réaliser une tare. Puis, le remplissage débute et le poids du contenant est surveillé en temps réel jusqu'à ce que la valeur programmée soit atteinte.

Ce principe convient particulièrement aux produits demandant une grande exactitude de dosage, en particulier les produits à forte valeur ajoutée ou à caractéristiques d'écoulement variables. En utilisant une cellule de pesage, il est possible de surveiller en permanence le flux du produit et, dans certains cas, de modifier le débit durant le remplissage pour améliorer encore la précision.

Le remplissage par poids offre également des bénéfices significatifs sur le plan de l'hygiène, car les composants de pesée n'entrent pas en contact direct avec le produit. Cette configuration diminue les risques de contamination et simplifie les opérations de nettoyage et d'entretien. Concernant le miel, cette approche représente une alternative particulièrement pertinente, car elle aide à équilibrer les fluctuations de la viscosité du produit et garantit un remplissage constant, précis et fiable.[65]

IV.6.Schéma Proteus :

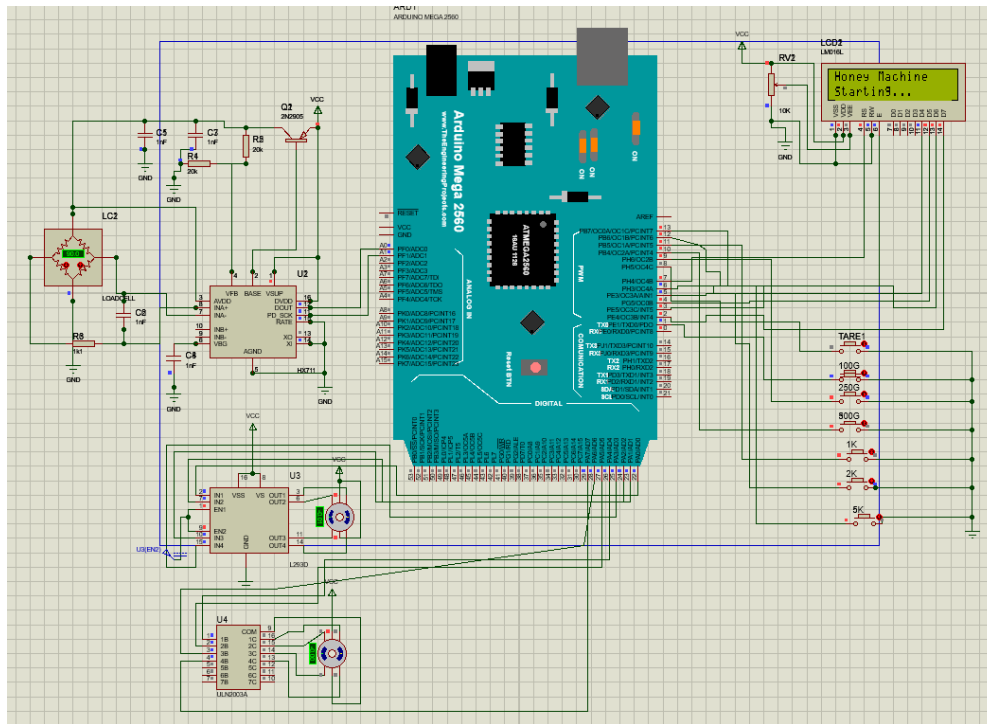


Figure 44 : Schéma électrique sous Proteus

La figure 44 présente le schéma électrique du module de pesage réalisé à l'aide du logiciel Proteus

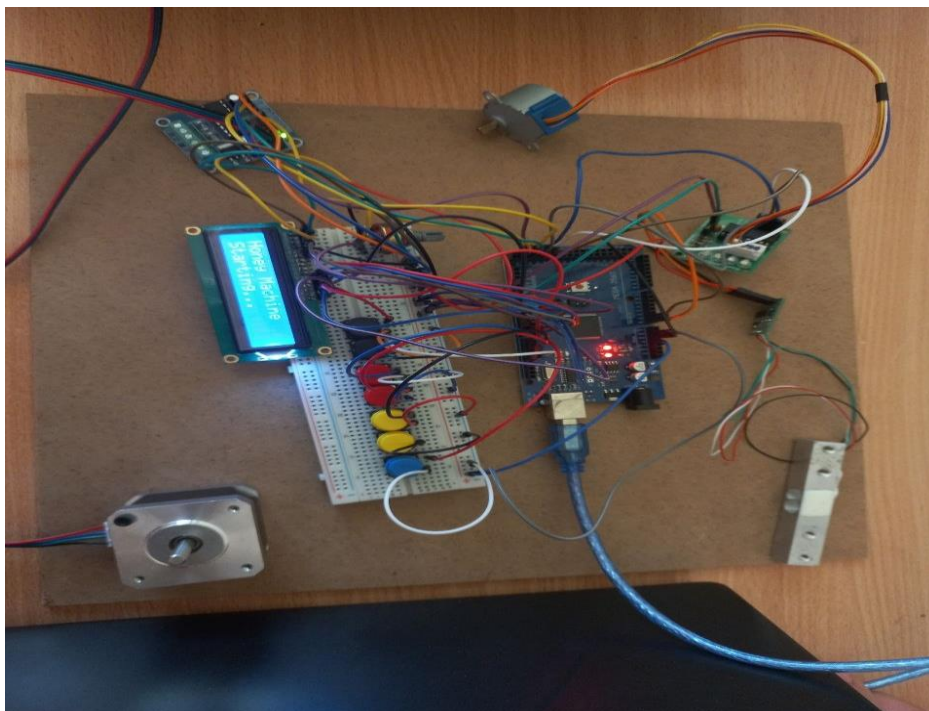


Figure 45 : Montage de la balance

IV.7.Réalisation du modèle

Après l'assemblage de tous les composants mécaniques, électroniques et de commande, nous avons obtenu le prototype final de la machine de remplissage du miel, illustré dans la figure suivante :

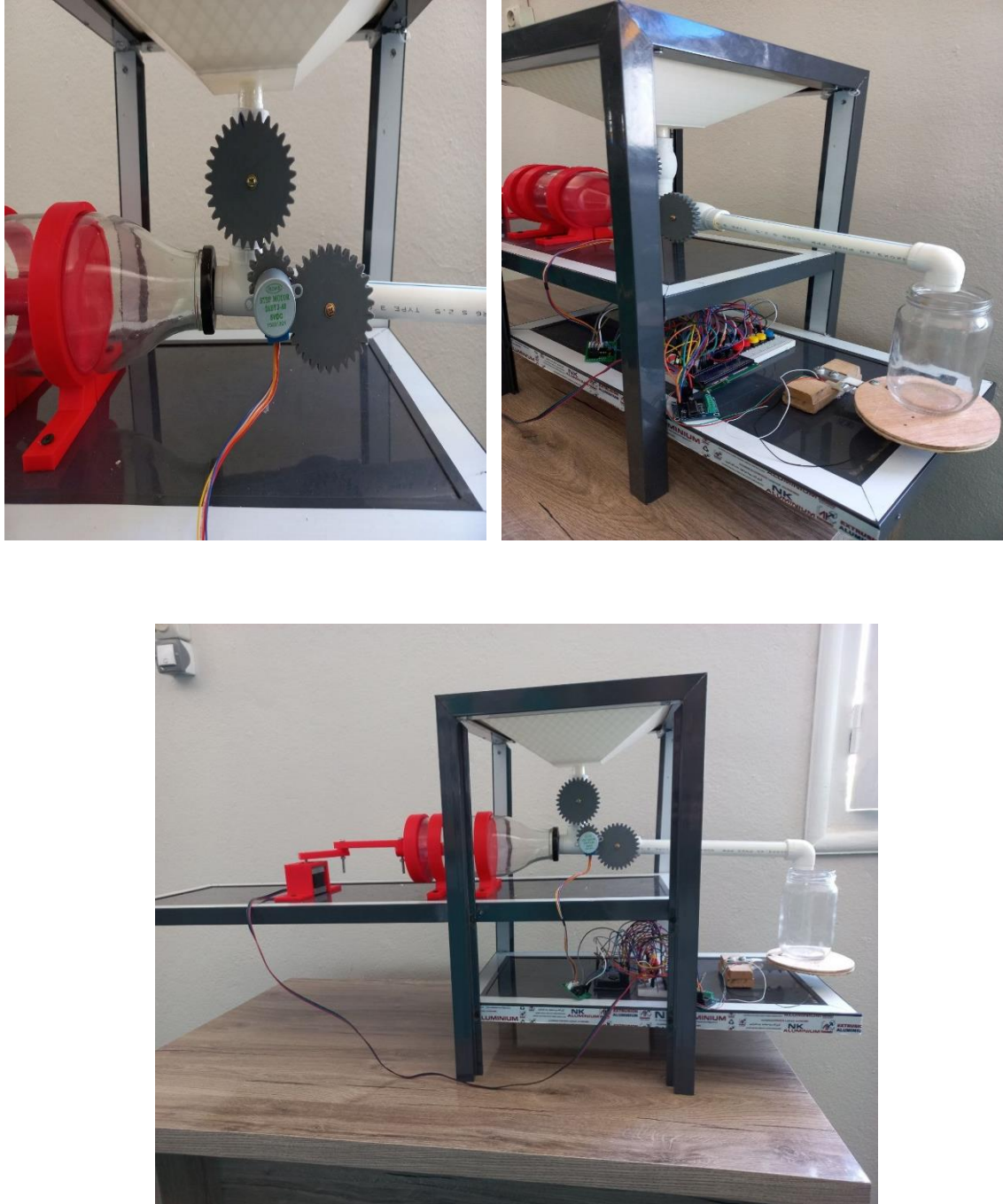


Figure 46 : Prototype de modèle final

IV.8.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la solution retenue pour la conception de la machine de remplissage du miel ainsi que l'architecture générale du système développé. L'étude a permis de définir le principe de fonctionnement de la machine et de justifier le choix des différents composants électriques et mécaniques utilisés.

La partie électrique a porté sur la sélection des éléments de commande et de mesure, notamment la carte Arduino Mega, le capteur de charge associé au module HX711, l'écran LCD ainsi que le moteur pas à pas et son circuit de commande. Ces composants assurent le contrôle du processus de remplissage, la mesure précise du poids du miel et l'interaction avec l'utilisateur.

Par ailleurs, la partie mécanique a concerné la conception du réservoir, du châssis et de la vanne de remplissage, éléments indispensables pour garantir la stabilité de la structure, le stockage du miel et le contrôle de son écoulement. L'intégration de ces différents sous-systèmes permet d'obtenir une solution cohérente répondant aux exigences fonctionnelles définies dans le cahier des charges.

Ainsi, ce chapitre a permis d'établir les bases techniques de la machine proposée et de valider les choix de conception adoptés. Ces résultats constituent une étape essentielle avant la phase de réalisation pratique et d'évaluation des performances du prototype.

Conclusion générale

Au terme de ce travail, nous avons mené une étude complète portant sur la conception et le prototypage d'une machine de remplissage automatisée du miel, répondant aux exigences de précision, de fiabilité et d'efficacité imposées par les procédés modernes de conditionnement agroalimentaire. Ce projet a été motivé par la nécessité de proposer une solution adaptée aux caractéristiques particulières du miel, notamment sa forte viscosité, sa sensibilité aux conditions de température et l'importance d'un dosage précis afin de limiter les pertes de produit.

Dans un premier temps, l'étude bibliographique réalisée a permis de comprendre l'évolution des machines de remplissage, leurs différents principes de fonctionnement ainsi que les technologies utilisées dans ce domaine. L'analyse comparative des solutions existantes a mis en évidence l'intérêt des systèmes de dosage pondéral pour les produits à forte valeur ajoutée tels que le miel, grâce à leur précision et à leur capacité à compenser les variations liées aux propriétés physiques du produit.

Par la suite, l'analyse fonctionnelle a permis d'identifier clairement les besoins à satisfaire, les fonctions de service à assurer ainsi que les contraintes techniques, économiques et ergonomiques à respecter. Cette étape a constitué une base essentielle pour orienter les choix de conception et définir un cahier des charges cohérent avec les objectifs du projet.

L'étude technologique a ensuite conduit à la sélection des composants les plus adaptés à la réalisation du système, notamment la carte Arduino Mega, le capteur de charge associé au module HX711, le moteur pas à pas, l'écran LCD ainsi que les différents éléments mécaniques nécessaires au fonctionnement de la machine. L'intégration de ces composants a permis de concevoir une architecture simple, économique et facilement reproductible.

La phase de conception et de prototypage a abouti à la réalisation d'un système capable d'assurer le remplissage automatique des contenants à partir d'un contrôle par pesage. Cette solution permet d'améliorer la précision du dosage, de réduire le gaspillage du miel et de faciliter le travail de l'opérateur tout en garantissant une meilleure régularité du processus de conditionnement.

Ainsi, les objectifs principaux fixés au début de ce projet ont été atteints. La machine développée constitue une solution pertinente pour les petites et moyennes unités de

production apicole recherchant un compromis entre coût d'investissement, simplicité d'utilisation et performance et plus de développement.

Bibliographie

- [1] R. W. Beck, *Industrial Packaging Machinery*, New York, USA: Wiley, 2012.
- [2] P. Fellows, *Food Processing Technology: Principles and Practice*, 4th ed., Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2017.
- [3] J. R. Couper, W. R. Penney, J. R. Fair, and S. M. Walas, *Chemical Process Equipment: Selection and Design*, 3rd ed., Oxford, UK: Elsevier, 2012.
- [4] M. Groover, *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*, 4th ed., Pearson, 2015.
- [5] S. Kalpakjian and S. Schmid, *Manufacturing Engineering and Technology*, 7th ed., Pearson, 2014.
- [6] A. K. Gupta and S. K. Arora, *Industrial Automation and Robotics*, New Delhi, India: Laxmi Publications, 2013.
- [7] H. Bandari, "Design and development of automatic liquid filling machine," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 5, no. 6, pp. 45–49, 2016.
- [8] S. S. Rattan, *Theory of Machines*, 3rd ed., New Delhi, India: McGraw-Hill, 2009.
- [9] ISO 9001:2015, *Quality Management Systems – Requirements*, International Organization for Standardization, 2015.
- [10] ISO 22000:2018, *Food Safety Management Systems – Requirements for any organization in the food chain*, International Organization for Standardization, 2018.
- [11] J. R. Davis, *Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice*, Wiley-Interscience, 2004.
- [12] R. Smith et J. K. Gupta, *Food Processing and Engineering Operations*, Springer, 2011.
- [13] H. Zhang, "Design and optimization of piston filling systems for liquid products," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 85, pp. 1123–1132, 2016.
- [14] J. Lelieveld, M. A. Mostert, et J. Holah, *Handbook of Hygiene Control in the Food Industry*, 2nd ed., Woodhead Publishing, 2016.

- [15] R. Simpson et C. R. J. Triggs, “Liquid food filling technologies and performance optimization,” *Journal of Food Engineering*, vol. 98, no. 3, pp. 269–276, 2010.
- [16] S. Emamian, “Automation in food processing industries: design and implementation,” *International Journal of Industrial Engineering*, vol. 25, pp. 45–53, 2018
- [17] J. Schwedes, “Review on testers for measuring flow properties of bulk solids,” *Granular Matter*, vol. 5, pp. 1–43, 2003.
- [18] D. Kunii et O. Levenspiel, *Fluidization Engineering*, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, 1991.
- [19] G. Webb et J. Black, “Powder handling and filling technologies in industrial applications,” *Powder Technology*, vol. 215–216, pp. 123–131, 2012.
- [20] <https://apiculture-remuaux.fr/produit/dana-api-matic-1000> (consulté 4 mars 2026).
- [21] <https://www.icko-apiculture.com/doseuse-miel-fillmel-froid-et-chaud.html> (consulté 4 mars 2026)
- [22] <https://www.latiendadelapicultor.com/fr/doseuses-de-miel/doseuse-a-miel-fillomat.html> (consulté 4 mars 2026)
- [23] E. Crane, *Honey: A Comprehensive Survey*, Heinemann, 1979.
- [24] <https://lomfiller.com/fr/machine-de-remplissage-de-miel/> (consulté 4 mars 2026)
- [25] F. G. Shinskey, *Process Control Systems: Application, Design, and Tuning*, McGraw-Hill, 1996.
- [26] Pestopack, *Automatic Honey Filling Machine – Technical Specifications*, 2021.
- [27] <https://www.mom-packaging.com/quest-ce-quune-machine-de-remplissage/> (consulté 18 février 2026)
- [28] AFNOR, *NF X50-150 : Analyse fonctionnelle – Expression du besoin et cahier des charges fonctionnel*, Paris, France, 2007.
- [29] R. Brown, *Handbook of Food Processing Equipment*, Springer, 2014.
- [30] G. Pahl and W. Beitz, *Engineering Design: A Systematic Approach*, Springer, 2007.
- [31] K. T. Ulrich and S. D. Eppinger, *Product Design and Development*, McGraw-Hill, 2016.

- [32] A. K. Kamrani and E. A. Nasr, *Engineering Design and Rapid Prototyping*, Springer, 2010.
- [33] I. Sommerville, *Software Engineering*, 10th ed., Pearson, 2015.
- [34] AFNOR. *NF X50-151 : Analyse fonctionnelle - Expression du besoin et cahier des charges fonctionnel*. Paris, France, 2011.
- [35] APTE. *La méthode APTE : Analyse fonctionnelle et analyse de la valeur*. Paris, France, 2004.
- [36] Girard, J.-P. *Analyse fonctionnelle : méthodes et applications*. Paris : Dunod, 2007.
- [37] Saporta, G. *Méthodes et outils de conception*. Paris : Eyrolles, 2010.
- [38] Millet, D., & Bouchard, F. *Ingénierie des systèmes et conception*. Paris : Lavoisier, 2012.
- [39] Dejax, P. *Conception des systèmes industriels*. Paris : Hermès Science, 2005.
- [40] ISO 14159. *Safety of machinery – Hygiene requirements for the design of machinery*. ISO, 2002.
- [41] ISO 12100. *Safety of machinery – General principles for design*. Geneva: ISO, 2010.
- [42] Smith, R. *Chemical Process Design and Integration*. Wiley, 2005.
- [43] Towler, G., & Sinnott, R. *Chemical Engineering Design*. Elsevier, 2013.
- [44] Bolton, W. *Pneumatic and Hydraulic Systems*. Elsevier, 2015.
- [45] Dejax, P. *Conception des systèmes industriels*. Hermès Science, 2005.
- [46] Perry, R. H., & Green, D. W. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. McGraw-Hill, 2008.
- [47] ISO 5167. *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices*. ISO, 2003.
- [48] Chapman, S. J. *Electric Machinery Fundamentals*. McGraw-Hill, 2012.
- [49] Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., & Umans, S. D. *Electric Machinery*. McGraw-Hill, 2013.
- [50] Kenjo, T., & Sugawara, A. *Stepping Motors and Their Microprocessor Controls*. Oxford University Press, 1994.

- [51] Margolis, M. *Arduino Cookbook*. O'Reilly Media, 2020.
- [52] : Techno-Science.net. (s.d.). Automate programmable industriel : définition et explications. (21 avril 2026) sur <https://www.techno-science.net/definition/6694.html>
- [53] : WonderfulPCB. . Comparaison des types de microcontrôleurs populaires et de leurs solutions. <https://www.wonderfulpcb.com/fr/blog/comparing-microcontroller-types-solutions/>
- [54] : Wonderful PCB. (2025, 26 mars). STM32 expliqué : fonctionnalités et applications. <https://www.wonderfulpcb.com/fr/blog/stm32-explained-features-applications/> (21 avril 2026)
- [55] :Fraden, J. *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*. Springer, 2016.
- [56]: Bentley, J. P. *Principles of Measurement Systems*. Pearson, 2005.
- [57] Patranabis, D. *Sensors and Transducers*. PHI Learning, 2010.
- [58] Frank, D. *Practical Electronics for Inventors*. McGraw-Hill, 2016.
- [59] Mazidi, M. A., Mazidi, J. G., & McKinlay, R. D. *The 8051 Microcontroller and Embedded Systems*. Pearson, 2013.
- [60] A.BELLEBIA ‘Automatisation d’une machine pour obtenir les contours de grille de table par un automate programmable S7-300 àl’ENIEM’ Mémoire de Master Université Mouloud MAMMERI de TIZI-OUZOU
- [61] Azzi, Abdelhak (2019). ‘*Étude théorique et expérimentale des systèmes d’étanchéité par joints pneumatiques*’. Thèse de doctorat en génie mécanique, Université de Poitiers, France
- [62] IABBADEN Z et LAHLOU F.’ Réalisation d’un module de distribution d’énergie à base d’une carte Arduino méga 2560’ Thèse de doctorat UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU
- [63] <https://www.moussasoft.com/capteur-hx711-de-poids-avec-arduino/> (consulté le 27avril 2026)
- [64] <https://mhtronic.com/produit/module-cellule-de-charge-hx711/> (consulté le 27avril 2026)

[65] <https://fr.wikipedia.org/>(consulté le 21 avril 2026)

Annexe

```

code_machine.ino
1  #include <LiquidCrystal.h>
2  #include "HX711.h"
3  #include <Stepper.h>
4  // ===== LCD =====
5  LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);
6  // ===== LOAD CELL =====
7  #define DT  A0
8  #define SCK  A1
9  HX711 scale;
10 // ===== BUTTONS =====
11 #define BTN_TARE  8
12 #define BTN_100G  1
13 #define BTN_250G  9
14 #define BTN_500G  10
15 #define BTN_1KG  11
16 #define BTN_2KG  12
17 #define BTN_5KG  13
18 // ===== STEPPER MOTORS =====
19 const int stepsPerRevolution = 2048;
20 Stepper moteurVanne (stepsPerRevolution, 26, 27, 28, 29);
21 Stepper moteurPiston(stepsPerRevolution, 22, 23, 24, 25);
22 // ===== VARIABLES =====
23 float currentWeight = 0;
24 float targetWeight = 0;
25 bool filling = false;
26 #define STEPS_90  512
27 #define STEPS_180 1024

```

```

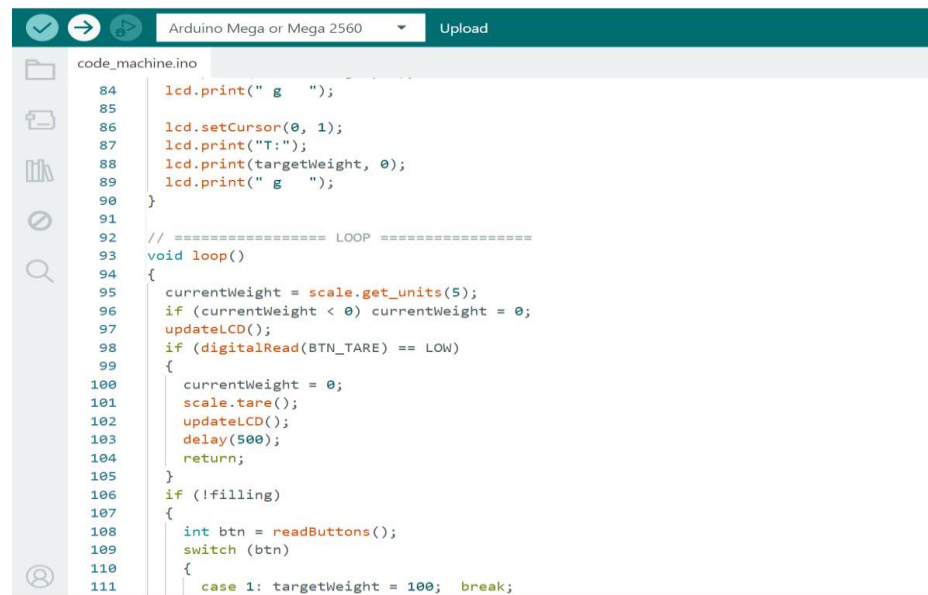
code_machine.ino
28 // ===== SETUP =====
29 void setup()
30 {
31   lcd.begin(16, 2);
32
33   pinMode(BTN_TARE, INPUT_PULLUP);
34   pinMode(BTN_100G, INPUT_PULLUP);
35   pinMode(BTN_250G, INPUT_PULLUP);
36   pinMode(BTN_500G, INPUT_PULLUP);
37   pinMode(BTN_1KG, INPUT_PULLUP);
38   pinMode(BTN_2KG, INPUT_PULLUP);
39   pinMode(BTN_5KG, INPUT_PULLUP);
40
41   scale.begin(DT, SCK);
42   scale.set_scale(1000.f);
43   scale.tare();
44
45   moteurVanne .setSpeed(15);
46   moteurPiston.setSpeed(15);
47
48   lcd.clear();
49   lcd.print("Honey Machine");
50   lcd.setCursor(0, 1);
51   lcd.print("Starting...");
52   delay(3000);
53   lcd.clear();
54 }

```

```

code_machine.ino
56 // ===== FUNCTIONS =====
57
58 unsigned long weightToDuration(float w)
59 {
60   if (w <= 100) return 2000;
61   if (w <= 250) return 3000;
62   if (w <= 500) return 4000;
63   if (w <= 1000) return 5000;
64   if (w <= 2000) return 6000;
65   return 10000;
66 }
67
68 int readButtons()
69 {
70   if (digitalRead(BTN_100G) == LOW) return 1;
71   if (digitalRead(BTN_250G) == LOW) return 2;
72   if (digitalRead(BTN_500G) == LOW) return 3;
73   if (digitalRead(BTN_1KG) == LOW) return 4;
74   if (digitalRead(BTN_2KG) == LOW) return 5;
75   if (digitalRead(BTN_5KG) == LOW) return 6;
76   return 0;
77 }
78
79 void updateLCD()
80 {
81   lcd.setCursor(0, 0);
82   lcd.print("W:");
83   lcd.print(currentWeight, 1);

```



```

84     lcd.print(" g ");
85
86     lcd.setCursor(0, 1);
87     lcd.print("T:");
88     lcd.print(targetWeight, 0);
89     lcd.print(" g ");
90 }
91
92 // ===== LOOP =====
93 void loop()
94 {
95     currentWeight = scale.get_units(5);
96     if (currentWeight < 0) currentWeight = 0;
97     updateLCD();
98     if (digitalRead(BTN_TARE) == LOW)
99     {
100         currentWeight = 0;
101         scale.tare();
102         updateLCD();
103         delay(500);
104         return;
105     }
106     if (!filling)
107     {
108         int btn = readButtons();
109         switch (btn)
110         {
111             case 1: targetWeight = 100; break;

```



```

112             case 2: targetWeight = 250; break;
113             case 3: targetWeight = 500; break;
114             case 4: targetWeight = 1000; break;
115             case 5: targetWeight = 2000; break;
116             case 6: targetWeight = 5000; break;
117         }
118     }
119     if (targetWeight > 0 && !filling)
120     {
121         filling = true;
122         unsigned long fillDuration = weightToDuration(targetWeight);
123
124         lcd.clear();
125         lcd.print("Filling...");
126         moteurVanne.step(STEPS_90);
127         moteurPiston.step(STEPS_180);
128         unsigned long startTime = millis();
129         while (millis() - startTime < fillDuration)
130         {
131             currentWeight = scale.get_units(5);
132             if (currentWeight < 0) currentWeight = 0;
133             updateLCD();
134             delay(200);
135         }
136         moteurVanne.step(-STEPS_90);
137         while (true)
138         {
139             currentWeight = scale.get_units(5);

```



```

140             if (currentWeight < 0) currentWeight = 0;
141             updateLCD();
142             if (currentWeight >= targetWeight) break;
143             delay(100);
144         }
145         moteurPiston.step(-STEPS_180);
146         filling = false;
147         targetWeight = 0;
148         lcd.clear();
149         lcd.print("DONE!");
150         delay(2000);
151         lcd.clear();
152     }
153 }

```

الملخص

يهدف هذا العمل إلى تصميم وإنجاز نموذج أولي لآلة تعبئة العسل تعتمد على نظام وزن إلكتروني لضمان تعبئة دقيقة وآلية للمنتج. تم في البداية دراسة مختلف أنواع آلات التعبئة ومبادئ عملها، مع التركيز على الخصائص الفيزيائية للعسل التي تفرض متطلبات خاصة أثناء عملية التعبئة. بعد ذلك أُجريت دراسة وظيفية لتحديد احتياجات النظام ومتطلباته التقنية، ثم تم اختيار المكونات المناسبة مثل بطاقة Arduino Mega، وحساس الوزن، ومحرك الخطوة، وشاشة العرض. وأخيرًا تم تصميم وتنفيذ النموذج المقترح واختبار أدائه. أظهرت النتائج أن النظام يحقق دقة جيدة في التعبئة ويقلل من هدر العسل، مما يجعله حلاً مناسباً للمربين ووحدات الإنتاج الصغيرة والمتوسطة.

الكلمات المفتاحية: آلة تعبئة، عسل، وزن إلكتروني، أردوينو ميغا (Arduino Mega)، خلية حمل (load cell)، أتمتة.

Résumé

Ce projet porte sur la conception et la réalisation d'un prototype de machine de remplissage du miel basée sur un système de pesage électronique afin d'assurer un dosage précis et automatique du produit. Une étude des différentes technologies de remplissage ainsi qu'une analyse des caractéristiques du miel ont été menées pour définir les exigences du système. Une analyse fonctionnelle a permis d'identifier les besoins et les contraintes de conception. Le prototype réalisé utilise une carte Arduino Mega, un capteur de charge, un moteur pas à pas et un afficheur LCD pour contrôler le processus de remplissage. Les résultats obtenus montrent que le système garantit une bonne précision de dosage tout en réduisant les pertes de produit, ce qui en fait une solution adaptée aux petites et moyennes unités de production apicole.

Mots-clés : Machine de remplissage, miel, pesage électronique, Arduino Mega, capteur de charge, automatisation.

Abstract

This project focuses on the design and development of a honey filling machine prototype based on an electronic weighing system to ensure accurate and automatic product dosing. A study of different filling technologies and the physical characteristics of honey was conducted to define the system requirements. Functional analysis was carried out to identify the needs and design constraints. The developed prototype uses an Arduino Mega board, a load cell sensor, a stepper motor, and an LCD display to control the filling process. The obtained results demonstrate that the system provides good filling accuracy while reducing product losses, making it a suitable solution for small and medium-sized beekeeping production units.

Keywords: Filling machine, honey, electronic weighing, Arduino Mega, load cell, automation.