

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU



Faculté du génie de la construction / Département de génie  
mécanique

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de  
Master académique Et d'un diplôme de startup / brevet, dans le  
cadre de l'arrêté N° 1275 du 27/09/2022

Spécialité : Construction Mécanique

Thème :

Conception Et Réalisation D'une  
Micro-Doseuse Automatique Destinée Au  
Milieu Médical.

Présenté par :

— ABDERRAHMANI Abdelwahab

Encadré par :

— KEHAL Abdelkrim (MCB,UMMTO)

— OULD OUALI Mohand (Professeur,UMMTO)

Année universitaire : 2024/2025

# Remerciements

Nous remercions tout d'abord et avant tout le Dieu qui nous a donné le courage et la détermination ainsi que la patience pour pouvoir franchir toutes les épreuves afin de mener à terme ce mémoire. Mes remerciements les plus sincères vont à mon promoteur, **M. KEHAL** pour avoir bien voulu m'encadrer et pour ses précieux conseils et orientations.

Je tiens à exprimer ma gratitude à **M. OULD OUALI** pour le temps qu'il m'a consacré et pour la patience qu'il a manifestée à mon égard. Un grand merci pour tout le **service maintenance de CHU NEDIR Mohamed Tizi-Ouzou** à leur tête **M. KHELOUI Tahar**, ainsi **M. DJAFFAR** et toute l'équipes de **GM Industrielle**, l'équipe de **Hall Technologie de la faculté Génie de construction**. Et surtout **M. KERFAH Saad Hachem** et **M. CHIKHI Ramzi** pour leurs aide a réaliser ce projet.

Mes remerciements vont également à tous **les membres du jury** qui ont bien voulu accepter de juger ce travail et toutes **l'équipe de l'incubateur de l'UMMTO**, tout particulièrement les **enseignants formateurs**, les enseignants qui ont contribué à ma formation, surtout les **enseignants de Génie Mécanique**.

Enfin, mes remerciements vont également à toutes les personnes, qui ont contribué au succès de leurs aides lors de la rédaction de ce mémoire et en particulier mes parents, ma famille et tous (tes) mes amis(es).

## Dédicaces

C'est avec un grand honneur que je dédie ce  
modeste travail

À mes parents qui ont toujours cru en moi, je leur  
témoigne ma profonde gratitude et  
reconnaissance pour leur amour, soutien et leur  
aide précieuse tout au long de mon cursus.

A mes très chers frères : Ayoub et Zakaria.

A tous mes cousins et mes cousines

A toutes mes amies : Dyhia, leaticia et Farah.

A tous mes amis : Kamel, Lyes, Jigou, Fouad, Ali,  
Massi, Tahar, Mounir et Said .

A tous les membres de l'association des malades  
asthmatiques de Tizi Ouzou à leur tête Anis,  
Hacene, Reda, Brahim et Mehdi.

A toute l'équipe des maîtres-nageurs de la plage  
Feraoun Tigzirt

**ABDERRAHMANI Abdelwahab**

# Table des matières

<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>1 Généralités sur la perfusion et le pousse seringue</b>	<b>4</b>
1.1 Introduction . . . . .	4
1.2 Généralités sur la perfusion . . . . .	4
1.2.1 Définition . . . . .	4
1.2.2 Les différentes techniques de perfusion . . . . .	5
1.2.3 Les différents systèmes de perfusion . . . . .	6
1.3 Généralité sur le pousse seringue . . . . .	10
1.3.1 Introduction . . . . .	10
1.3.2 Définition . . . . .	10
1.3.3 Le Principe de fonctionnement . . . . .	10
1.3.4 Les différents types des PES . . . . .	11
1.3.5 Les Différents modes d'administration des PSE . . . . .	13
1.3.6 Avantages et inconvénients d'un PSE . . . . .	16
1.3.7 Applications Médicale des PSE . . . . .	18
1.3.8 Conclusion . . . . .	20
<b>2 Analyse fonctionnelle du pousse-seringue électrique</b>	<b>22</b>
2.1 Introduction . . . . .	22
2.2 Analyse fonctionnelle d'un pousse seringue . . . . .	22
2.2.1 Présentation de système : . . . . .	22
2.2.2 Fonction d'usage du système : . . . . .	23
2.2.3 Enoncés des fonctions de service . . . . .	23
2.2.4 Fonction interne de système : . . . . .	24
2.3 Cahier des charges . . . . .	25
2.4 Normes internationales de pousse seringue . . . . .	26
2.5 Les matériaux destinés pour les dispositifs médicaux . . . . .	27
2.5.1 La biocompatibilité . . . . .	27
2.5.2 Propriétés mécaniques . . . . .	27
2.5.3 Résistance à la corrosion . . . . .	27
2.5.4 Sérialisabilité . . . . .	28
2.5.5 Coût de fabrication et faisabilité . . . . .	28
2.5.6 Métaux couramment utilisés dans les dispositifs médicaux . . . . .	28
2.5.7 Les polymères . . . . .	30
2.5.8 Les céramiques . . . . .	30
2.5.9 Les matériaux d'origine naturelle . . . . .	31
2.6 Architecture mécanique et composants d'entraînement du dispositif . . . . .	31

2.6.1	Moteur pas à pas . . . . .	31
2.6.2	Les engrenages . . . . .	33
2.7	Partie électronique et système de commande du pousse-seringue . . . . .	40
2.7.1	L'alimentation . . . . .	40
2.7.2	Collection d'information . . . . .	40
2.7.3	Capteur utilisé dans le pousse-seringue . . . . .	42
2.7.4	Actionneur motorisation . . . . .	42
2.7.5	Microcontrôleur . . . . .	43
2.7.6	Alarme . . . . .	44
2.7.7	Affichage . . . . .	44
2.8	Conclusion . . . . .	45
<b>3</b>	<b>Étude de fabrication d'un pousse-seringue</b>	<b>47</b>
3.1	Introduction . . . . .	47
3.2	Contraintes . . . . .	47
3.2.1	Contraintes techniques . . . . .	47
3.2.2	Contraintes de sécurité . . . . .	47
3.2.3	Contraintes réglementaires . . . . .	48
3.2.4	Contraintes d'utilisation . . . . .	48
3.2.5	Contraintes économiques et de maintenance . . . . .	48
3.3	Partie mécanique . . . . .	48
3.3.1	étude de fonctionnement . . . . .	48
3.3.2	Calcul du déplacement de la seringue . . . . .	49
3.3.3	Calcul du couple nécessaire pour le moteur : . . . . .	52
3.3.4	Étude de la fabrication de prototype . . . . .	53
3.4	Conclusion . . . . .	61
<b>4</b>	<b>Création d'une startup</b>	<b>63</b>
4.1	Présentation de projet . . . . .	63
4.1.1	Présentation de l'équipe de projet . . . . .	63
4.1.2	L'idée du projet (solution proposée) . . . . .	65
4.1.3	Valeurs proposées . . . . .	66
4.1.4	Objectifs du projet . . . . .	66
4.1.5	Calendrier de réalisation . . . . .	67
4.2	L'aspect innovant du projet . . . . .	67
4.2.1	La nature des innovations . . . . .	67
4.2.2	Domaine d'innovation . . . . .	69
4.3	Analyse stratégique du marché . . . . .	70
4.3.1	Segment du marché . . . . .	70
4.3.2	Intensité de la concurrence . . . . .	73
4.3.3	Stratégie marketing . . . . .	73
4.4	Plan de production et organisation . . . . .	74
4.4.1	Le Processus de production . . . . .	74
4.4.2	L'Approvisionnement . . . . .	76
4.4.3	La main-d'œuvre . . . . .	78
4.5	Plan financier . . . . .	80
4.5.1	Les coûts et les charges . . . . .	80
4.5.2	Le chiffre d'affaires . . . . .	83
4.5.3	Stratégie de financement : . . . . .	83

4.6 Prototype . . . . .	85
<b>Conclusion générale</b>	<b>86</b>

# Table des figures

1.1	Set de perfusion intraveineuse . . . . .	5
1.2	Les différents dispositifs de la perfusion[1] . . . . .	6
1.3	système de perfusion par gravité . . . . .	7
1.4	pompes volumétriques . . . . .	8
1.5	pousse seringue[3] . . . . .	9
1.6	modèle de pousse seringue électrique. . . . .	10
1.7	Principe de pousse seringue électrique . . . . .	11
1.8	Exemple de pousse seringue simple voie . . . . .	12
1.9	Exemple de pousse seringue double voies . . . . .	12
1.10	Exemple sur une station de perfusion . . . . .	13
1.11	Exemple sur un pousse seringue entérale . . . . .	13
1.12	Mode d'administration des PSE (mode continu) . . . . .	14
1.13	Mode d'administration des PSE (le mode intermittent) . . . . .	14
1.14	Mode d'administration des PSE (Mode d'analgésie auto contrôlée) . . . . .	15
1.15	Mode d'administration des PSE (Nutrition Parentérale Totale) . . . . .	15
1.16	Mode d'administration des PSE (Mode simultané) . . . . .	15
1.17	Mode d'administration des PSE (Mode alterné) . . . . .	16
1.18	Utilisation de le pousse seringue . . . . .	18
2.1	Schéma Fonctionnel du PSE (diagramme A0)[6] . . . . .	23
2.2	La fonction de service (Diagramme pieuvre)[6] . . . . .	23
2.3	l'analyse fonctionnelle interne de système (diagramme FAST)[6] . . . . .	24
2.4	Moteur pas à pas . . . . .	32
2.5	schéma des bobines d'un moteur bipolaire et d'un moteur unipolaire . . . . .	33
2.6	Engrenages parallèles à roues cylindriques. . . . .	34
2.7	Engrenages coniques à axes concourants. . . . .	35
2.8	Roues cylindriques : orientation des lignes de flanc de la denture . . . . .	35
2.9	Roues coniques : orientation des lignes de flanc sur la roue plate . . . . .	36
2.10	les différents engrenage . . . . .	37
2.11	vis trapézoïdale . . . . .	39
2.13	Encodeur rotatif incrémental . . . . .	41
2.14	Encodeur rotatif absolu . . . . .	41
2.15	c moteur pas a pas type Nema . . . . .	43
2.16	pic 16 F 877 . . . . .	43
2.17	active buzzer . . . . .	44
2.19	Afficheur OLED . . . . .	45
3.1	conception de Châssis(support de fixation) . . . . .	54
3.2	Châssis(support de fixation) . . . . .	54

3.3	Conception de poussoir . . . . .	55
3.4	poussoir . . . . .	55
3.5	Conception de guidage de poussoir . . . . .	56
3.6	Guidage de poussoir . . . . .	56
3.7	Conception de la tige de guidage . . . . .	56
3.8	Conception de la glissière . . . . .	56
3.9	tige de guidage . . . . .	57
3.10	la glissière . . . . .	57
3.11	Conception de système d'engrenage . . . . .	57
3.12	système d'engrenage . . . . .	58
3.13	Assemblage finale de la partie mécanique . . . . .	58
3.14	Arduino UNO . . . . .	59
3.15	contrôleur L298N . . . . .	59
3.16	écran LCD . . . . .	60
3.17	schémas de branchement . . . . .	60
3.18	assemblage final de la machine . . . . .	61
4.1	Diagramme circuler de prix . . . . .	82

# Liste des tableaux

2.1	Tableau des besoins et contraintes du système . . . . .	25
2.2	Instructions pour le choix des matériaux pour les engrenages cylindriques et coniques [11] . . . . .	38
2.3	caractéristiques Principales d'engrenage a denture droite . . . . .	38
2.4	caractéristiques Principales d'engrenage à denture hélicoïdale . . . . .	39
3.1	Dimensions normalisées des seringues médicales (selon ISO 7886-1) . . . . .	51
4.1	coûts investissements initiaux . . . . .	81
4.2	coûts variables . . . . .	81
4.3	Frais annuels . . . . .	83

# Introduction générale

# Introduction générale

L'Algérie rencontre un accroissement accru dans le secteur de la santé, composé de plus de 25000 lits pour plus de 8000 établissements qui demandent plus en plus de matériels médicaux, vu la contrainte économique imposée par les coûts d'importation de ce matériel médical, le besoin d'une production locale est indispensable.

Au-delà du secteur de la santé, ces dispositifs trouvent de nombreuses applications en chimie, en microfluidique, en biologie et dans les procédés industriels. Ils facilitent l'incorporation graduelle et maîtrisée de réactifs dans une solution, l'approvisionnement ininterrompu d'appareils microfluidique, ou la mise en œuvre de réactions biologiques fulgurantes, à l'instar des systèmes dits stopped-flow. Dans le secteur industriel, ils sont utilisés dans divers domaines tels que le traitement de l'eau, la pétrochimie, l'agroalimentaire, la cosmétique ou encore l'énergie. Leur rôle est crucial pour mesurer avec précision des substances telles que les solvants, les additifs, les enzymes ou les nutriments, souvent au sein d'environnements automatisés. Grâce à leur précision, leur fiabilité et leur consommation réduite, ces outils sont essentiels pour améliorer les processus, garantir la reproductibilité des expériences et minimiser les pertes de matières.

Néanmoins, en dépit de leur importance, les pousse-seringues proposés sur le marché sont fréquemment onéreux, dû à l'exigence d'une précision mécanique et électronique élevée. Cette situation restreint parfois leur disponibilité dans les installations aux ressources limitées ou pour les applications requérant plusieurs unités en même temps. Par conséquent, concevoir un pousse-seringue électrique plus abordable tout en conservant sa fiabilité, sa précision et sa facilité d'utilisation est un défi important, tant pour le domaine médical que pour la recherche scientifique et l'industrie.

La conception d'une pompe micro-doseuse automatique (pousse-seringue) répond à la nécessité d'administrer des volumes très précis de solutions thérapeutiques. En milieu médical, elle assure un débit continu, fiable et réduit les erreurs de dosage, garantissant une concentration sanguine stable des médicaments. Essentielle en anesthésie-réanimation, néonatalogie, soins intensifs ou oncologie, elle sécurise les traitements où la moindre variation de débit peut mettre en danger le patient.

Afin de répondre aux objectifs de ce projet, notre travail a été organisé en cinq chapitres. Après une **introduction générale**, le premier chapitre présente les notions fondamentales relatives à **la perfusion et au pousse-seringue**. Le deuxième chapitre est consacré à **l'étude détaillée du dispositif**. Le troisième chapitre expose la **conception et la réalisation du pousse-seringue**. Le quatrième chapitre traite de **la création d'un startup** en lien avec ce projet. Enfin, notre travail se conclut par une synthèse générale des résultats et des perspectives ouvertes.

# Chapitre 1

## Généralités sur la perfusion et le pousse seringue

# Chapitre 1

## Généralités sur la perfusion et le pousse seringue

### 1.1 Introduction

La perfusion médicale est une technique thérapeutique largement utilisée dans les structures hospitalières ainsi que dans les soins ambulatoires. Elle consiste en l'administration continue ou intermittente de substances médicamenteuses, de solutions nutritives ou hydriques directement dans la circulation sanguine, permettant ainsi une action rapide et efficace. La perfusion occupe une place importante dans la prise en charge des patients, notamment dans le traitement des déshydratations, des infections graves, des pathologies chroniques ou encore en réanimation. Elle est encadrée par un personnel médical et paramédical formé, et s'appuie sur des dispositifs de plus en plus modernes, tout en respectant les protocoles d'asepsie pour prévenir les complications infectieuses. L'étude de la perfusion dans le contexte algérien permet ainsi de mettre en lumière ses applications, ses enjeux organisationnels et ses défis en termes de formation, de matériel et de sécurité des patients.

Dans un contexte de croissance de la demande en soins, de vieillissement démographique et d'augmentation des pathologies chroniques, les exigences à l'égard du personnel médical n'ont jamais été aussi importantes. Dans les établissements hospitaliers de notre pays, on observe parmi les complications suivantes :

On relève d'importantes carences dans le secteur de la perfusion, tant en matière d'équipements que de techniciens qualifiés en maintenance. La méthode traditionnelle de perfusion par gravité requiert une présence constante d'un infirmier et ne propose pas de réponses efficaces lors de diverses procédures nécessitant une précision en matière de perfusion et des durées variables.

### 1.2 Généralités sur la perfusion

#### 1.2.1 Définition

La perfusion consiste en l'administration progressive et constante d'un produit médicamenteux ou du sang dans un corps ou un organe. Elle peut être réalisée par les voies :[1]

- entérales (par voie buccale, naso-gastrique).
- parentérales (intramusculaire, sous-cutanée, intraveineuse, intra-artérielle).

- autres (rectale, dermique, nasale, trachéo-bronchique, péridurale...).

L'administration parentérale des médicaments est un mode d'administration transversal : Elle concerne l'ensemble des unités de soins d'un établissement, elle permet :

- D'assurer la survie en cas d'urgence
- De maintenir un équilibre nutritionnel
- De maintenir l'équilibre hydro-électrolytique lors de périodes opératoires
- De mettre en place des thérapies à débit continu :[2]
  - Antibiothérapie
  - Antalgique
  - Chimiothérapie

La voie intraveineuse est la plus couramment utilisée en raison de l'abondance des veines et de leur accès facile. L'effet est très rapide et n'engendre pas de dégradation des principes actifs dans le système digestif. Elle peut se faire à l'aide de cathéters périphériques (cathéter court, cathlon), de cathéters centraux ou de chambres à cathéters implantables. La perfusion intraveineuse permet d'administrer des fluides et des médicament aux patients :[1]

- incapables d'avaler des préparations orales
- qui ont un problème d'absorption gastro-intestinale
- lorsque l'état général ne permet pas une prise de médicament « normale ».



FIGURE 1.1 – Set de perfusion intraveineuse

## 1.2.2 Les différentes techniques de perfusion

### La perfusion en bolus

En pharmacie et en médecine, le terme bolus ou bol désigne une administration complète d'une dose de médicament ou de produit de contraste à la fois. Il est principalement utilisé pour les médicaments d'urgence et la chimiothérapie.

## La perfusion continue

Il s'agit de l'administration de médicaments à un rythme constant et dont la concentration sanguine reste stable, sur une période temporelle régulière. Exemple : Prise en charge de la douleur chez un patient atteint de cancer, sédation d'un patient en réanimation, traitement d'un patient gravement brûlé.

## La perfusion courte intermittente

Intermédiaire entre la perfusion en bolus et la perfusion continue. Perfusion courte de l'ordre de 30 à 60mn, toutes les 4, 6, 8 ou 12 heures selon la pharmacocinétique des médicaments (ex : Antibiothérapie du patient infecté).[2]

### 1.2.3 Les différents systèmes de perfusion

Comme le montre le schéma dans la figure ci-dessous, il existe deux grands modes de perfusion : par gravité et par pression.

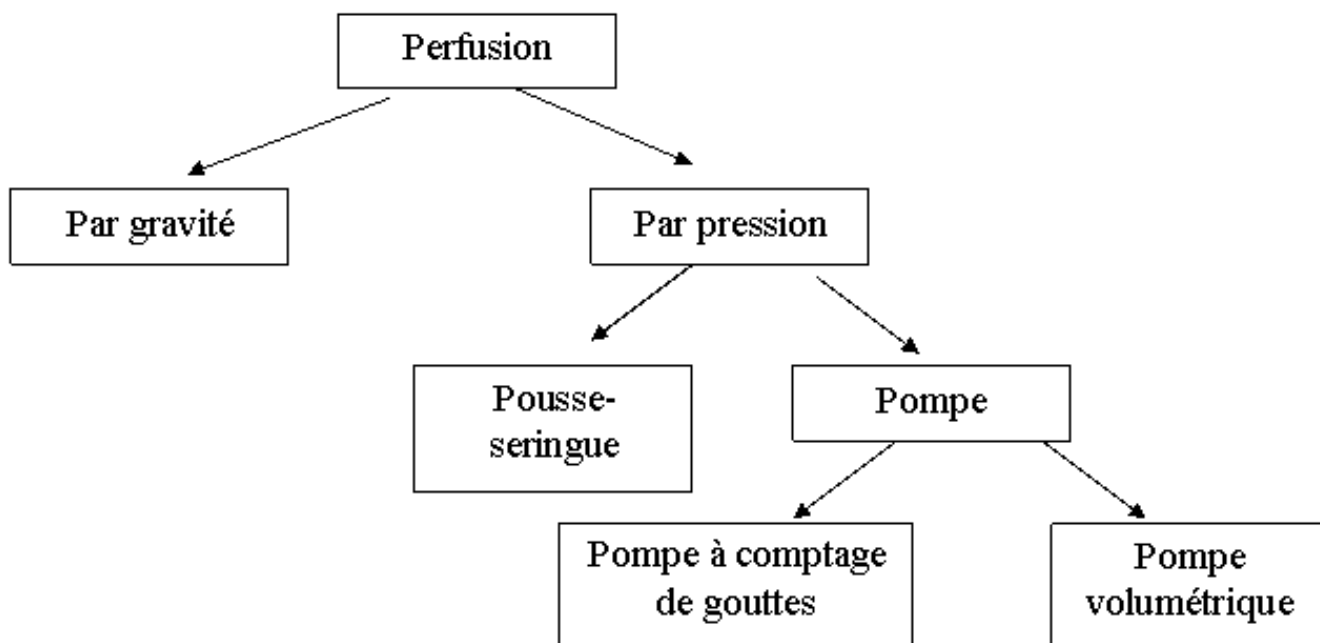


FIGURE 1.2 – Les différents dispositifs de la perfusion[1]

#### Perfusion par gravité :

C'est le système le plus simple et le plus fréquemment employé. Le réceptacle du soluté est placé à une altitude supérieure par rapport à l'endroit où le vaisseau sanguin est accessible, idéalement à environ 1 mètre 80 au-dessus du sol. Le flux du soluté se produit grâce à la masse de la colonne de liquide et pénètre dans la veine du patient avec une force motrice proportionnelle à la différence d'altitude entre les deux points. Son principal inconvénient est d'être très peu précis, car le volume d'une goutte varie en fonction des différents paramètres. Du fait de certains inconvénients majeurs, ce mode de perfusion doit être réservé aux médicaments qui ne nécessitent pas une précision et une stabilité du débit de perfusion. La figure ci-dessous montre le dispositif de perfusion par

gravité. Avec ou sans régulateur de débit.[2]

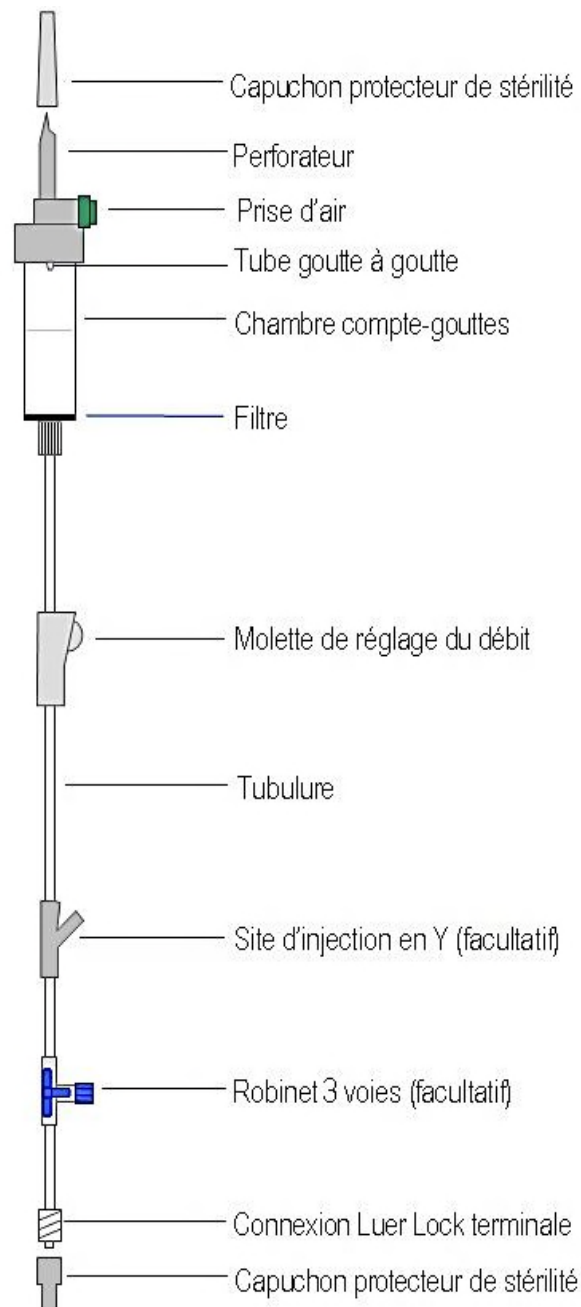


FIGURE 1.3 – système de perfusion par gravité

## Perfusion par pression

Pour ce qui est de la perfusion par pression, on va illustrer deux structures : Les pompes volumétriques, également connues sous le nom de pompes à perfusion, sont des dispositifs qui délivrent des liquides dépassant  $60ml$ . Elles permettent l'administration de grandes quantités de solutions injectables (qu'il s'agisse de médicaments ou de nutriments) dans la circulation sanguine d'un patient via une injection parentérale. Pour les volumes inférieurs à  $60ml$ , on utilise des pousse-seringues.[2] Les pousse-seringues sont



FIGURE 1.4 – pompes volumétriques

reconnus pour leur large utilisation, précision et fiabilité, répondant ainsi aux besoins variés des professionnels du milieu médical.

Les pousse-seringues utilisent l'énergie mécanique électrique d'un moteur qui pousse sur le piston de la seringue. Là aussi, divers facteurs influent sur la précision du débit en sortie du dispositif.

Le plus important est le diamètre interne de la seringue, c'est sur cette donnée que se base la seringue électrique afin de déterminer la vitesse d'avancement du piston. Le diamètre interne des seringues varie d'une marque à l'autre et de leurs quantités, il est donc primordial de bien spécifier le type de seringue à usage unique utilisée avant toute perfusion. Il faut veiller également à ne pas changer la position de la seringue lors de la perfusion, des études ont en effet constaté que lors de la verticalité de certaines seringues, l'administration d'un bolus de produit pouvait se produire. Le volume de ce bolus atteint parfois plus de  $2ml$ , et peut être ensuite suivi d'une période pendant laquelle aucun médicament n'est perfusé au patient.

La taille de la seringue est également un facteur de variation de débit, il est toujours conseillé notamment lorsque l'on utilise de faibles débits d'utiliser une seringue de petit diamètre. Une étude a démontré qu'à faible débit ( $1ml/h$ ), le choix d'une seringue de  $20ml$  réduisait le risque de bolus et de période sans débit par rapport à une seringue de  $50ml$ . Les normes en vigueur exigent que les seringues utilisées aient un diamètre interne précis d'environ 1%. La tolérance de variation du débit admis au niveau du moteur d'une seringue pulsée est de  $\pm 1$ . Toutes ces données techniques vont nous amener à concevoir une base de données qui sera utilisée par le programme pour bien contrôler

l'opération d'injection. Pour conclure et justifier notre choix, la perfusion par pression présente plusieurs avantages, et parmi eux, on cite les suivants :[2]

- Réglage aisé et faible débit.
- Possibilité de perfuser de petites quantités de solutés.
- Surveillance plus réduite.
- Une précision chirurgicale en débit et durée.



FIGURE 1.5 – pousse seringue[3]

## 1.3 Généralité sur le pousse seringue

### 1.3.1 Introduction

Le « seringue pousse » ou « seringue pump » en anglais est un appareil qui assure une perfusion constante et à débit fixe d'un soluté ou d'un médicament. Sa plage d'utilisation est vaste, s'étendant de l'ingénierie alimentaire à la recherche biologique, bien que son usage médical soit le plus fréquent. Les seringues auto-pousseuses peuvent potentiellement délivrer des fluides en grands ou petits volumes et sont susceptibles d'être utilisées pour administrer des nutriments ou des traitements, tels que l'insuline ou d'autres hormones, les antibiotiques, les médicaments de chimiothérapie et les antalgiques.[4]

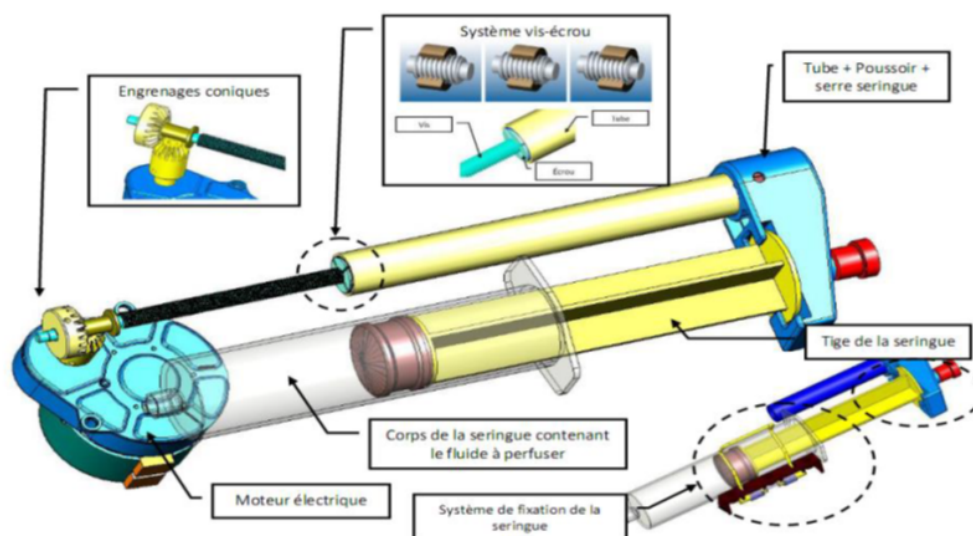


FIGURE 1.6 – modèle de pousse seringue électrique.

### 1.3.2 Définition

Un pousse-seringue électrique (PSE) est, par définition, un dispositif permettant de délivrer un flux stable d'un médicament à une vitesse spécifique. La programmation choisie par l'utilisateur détermine la vitesse à laquelle le piston de la seringue se déplace. Il est possible d'utiliser différents modèles et dimensions de seringues. La figure ci-dessous représente un modèle de pousse-seringue électrique. [4]

### 1.3.3 Le Principe de fonctionnement

Le dispositif intègre des composants mécaniques, électriques et électroniques. La composante mécanique fonctionne comme un support pour les divers genres de seringues. Il y a un berceau et un piston qui sont destinés à accueillir le corps de la seringue. Généralement, le berceau est équipé d'un détecteur et d'une entaille destinée à fixer la seringue. La collerette du piston est attachée au chariot du piston de la seringue via des griffes. Il inclut aussi un dispositif de capteurs destiné à contrôler l'emplacement correct du piston. Le contenu de la seringue est littéralement déplacé vers le circuit patient grâce à un système de vis sans fin qui entraîne le piston du PSE. Un moteur électrique entraîne cette

composante mécanique. Qu'il soit alimenté par le secteur ou par une batterie, ce dispositif fait avancer constamment le piston de la seringue au moyen d'une vis sans fin. Il est contrôlé par un système électronique qui détecte les anomalies en émettant des alertes. Le recours à une batterie est essentiel pour des raisons de sécurité, car il assure un fonctionnement continu, même en présence d'une interruption d'alimentation. Finalement, la composante électronique supervise tous les autres éléments. Cette composante agit en tant que mini-ordinateur, capable non seulement de contrôler les flux et les pressions, mais aussi d'exécuter une multitude de calculs de doses selon différents protocoles.[4]

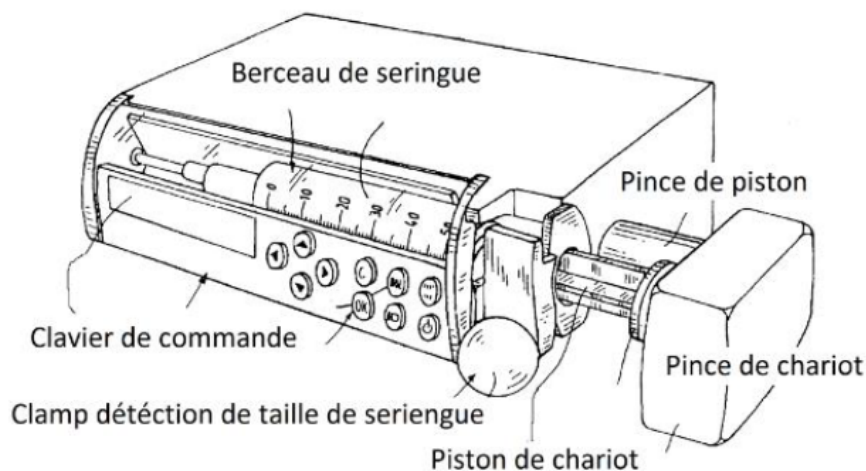


FIGURE 1.7 – Principe de pousse seringue électrique

### 1.3.4 Les différents types des PES

Des pousse-seringues à voie unique ou multiple (habituellement deux) sont disponibles, ce qui facilite l'administration de divers médicaments à plusieurs emplacements sur un même patient.[5]

- **Pousse seringue à simple voie**

Un Pousse Seringue à voie unique ou mono-voie est un appareil qui permet l'injection d'une seule solution à la fois, comme par exemple la Dopamine. Son support peut accueillir une seule seringue de n'importe quel volume, et on les retrouve généralement dans les salles d'opération.



FIGURE 1.8 – Exemple de pousse seringue simple voie

- **Pousse seringue à double voie**

On trouve des seringues à double voie monobloc. Ils incorporent les mêmes restrictions qu'un pousse-seringue ordinaire (mono-valeur). Toutefois, cet appareil est capable de manipuler deux seringues contenant deux solutions différentes, ce qui lui permet soit de fusionner les solutions, soit de gérer chaque seringue de manière indépendante.



FIGURE 1.9 – Exemple de pousse seringue double voies

- **Stations de perfusion**

Avec leur conception modulaire, ces dispositifs permettent d'arranger, à la proximité du patient, l'agencement des voies de pousse-seringues requises pour le traitement, et d'adapter les stations de perfusion en fonction des soins dispensés au patient. Elles peuvent également inclure des pompes de perfusion. Ces dispositifs comprennent des pousse-seringues disposés en parallèle et interconnectés sur une plateforme qui centralise les ordres et les données relatives à l'état des perfusions. On peut se servir de ces appareils pour l'administration synchronisée d'hypnotique et de morphinique en AIVOC (Anesthésie Intraveineuse à Objectif de Concentration).



FIGURE 1.10 – Exemple sur une station de perfusion

- **Pousse seringue entérale**

Il est adapté pour fournir de petites quantités à un débit modeste ( $0,1$  à  $200\text{ml/h}$ ), utilisé pour la nutrition des bébés et des prématurés (il se sert de seringues à usage oral avec embout conique « cathéter » ou embout « luer lock » femelle).[3]

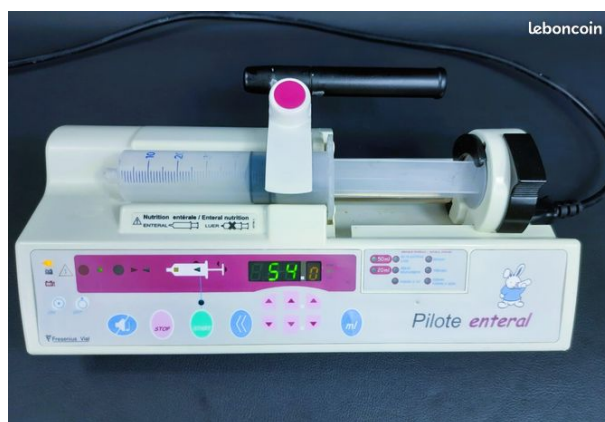


FIGURE 1.11 – Exemple sur un pousse seringue entérale

### 1.3.5 Les Différents modes d'administration des PSE

Un pousse-seringue peut opérer en fonction d'un ou plusieurs modes :[4]

- Le mode « perfusion continue » qui offre la possibilité de contrôler le volume à administrer et le flux.
- Le mode « AIVT » (Anesthésie Intra Veineuse Totale) ajuste le débit et la posologie en fonction de l'âge, du poids et du sexe du patient. C'est le pousse-seringue qui détermine de manière autonome la dose à administrer.
- Le mode « AIVOC » (Anesthésie Intra Veineuse à Objectif de Concentration) où la dose est déterminée selon la concentration plasmatique désirée.

## Le mode perfusion continue

C'est le plus facile, le plus élémentaire et le plus couramment employé. Presque tous les PSE sont conçus pour cet usage. Il suffit de configurer un débit en millilitres par heure, et l'équipement se chargera du reste. Les pompes à perfusion modernes offrent de plus en plus la possibilité de doser en fonction du kilogramme par heure (ou même par minute ou sur 24 heures), mais sans réaliser le calcul de posologie. En d'autres termes, c'est à l'opérateur de décider lui-même de la dose, et non le PSE qui effectuerait ce calcul en suivant un protocole.[4]

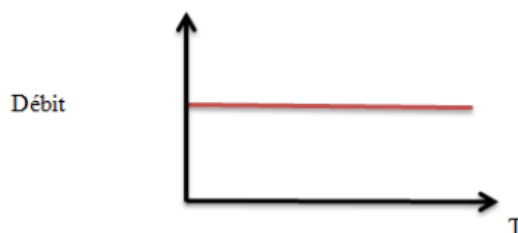


FIGURE 1.12 – Mode d'administration des PSE (mode continu)

## Le mode Intermittent

C'est une méthode avec une administration périodique et un rythme d'administration constant, où la quantité de dosage demeure stable. Ce mode s'applique dans les traitements par intervalles, comme c'est le cas pour les antibiotiques.[4]

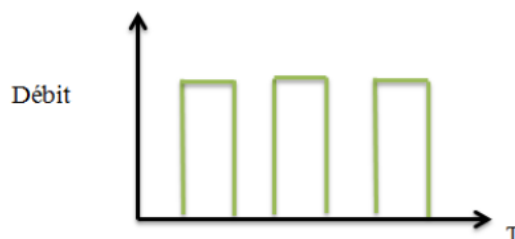


FIGURE 1.13 – Mode d'administration des PSE (le mode intermittent)

## Mode d'analgésie auto contrôlée

C'est une méthode à débit continu programmé qui inclut ou non un supplément de débit, que l'on désigne sous le nom de BOLUS, selon les besoins du patient. Cette quantité sera administrée chaque fois que le patient en fait la demande et que celle-ci est validée par la pompe (Dose bolus). On applique cette technique dans le cadre de l'analgésie contrôlée par le patient, un PCA (pour douleur aiguë ou chronique) qui commence par une approche intraveineuse, et un PCEA (Anesthésie Épidurale Contrôlée par le Patient) qui débute par une intervention péridurale. Qui vise à soulager la douleur sous le contrôle du patient.[4]

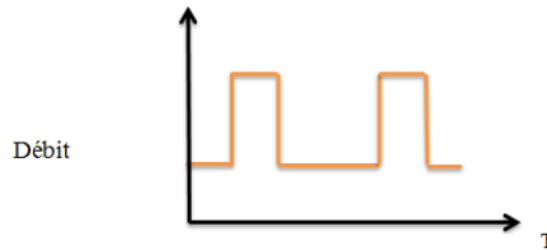


FIGURE 1.14 – Mode d'administration des PSE (Mode d'analgésie auto contrôlée)

### Nutrition Parentérale Totale

L'alimentation parentérale est une méthode de soutien nutritionnel par voie intraveineuse, soit en tant que principale, soit comme supplément. Elle peut être réalisée avec une pompe ou un pousse-seringue. Il est possible d'augmenter ou de diminuer graduellement le débit pour des recommandations thérapeutiques spécifiques.[3, 4]

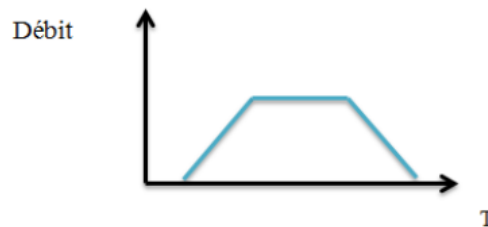


FIGURE 1.15 – Mode d'administration des PSE (Nutrition Parentérale Totale)

### Mode simultané

Il est envisageable de gérer plusieurs produits simultanément avec des taux différents (pompe à double canaux simultanés ou stations de perfusion).[4]

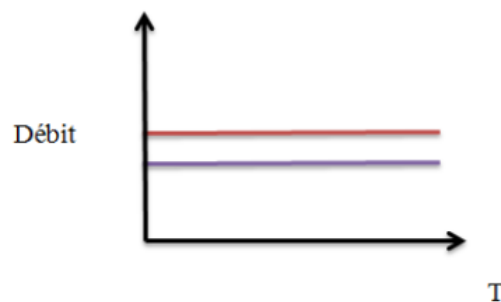


FIGURE 1.16 – Mode d'administration des PSE (Mode simultané)

### Mode alterné

Dans le même principe, l'administration peut s'effectuer de manière alternée (avec les pompes à double voies alternées ou les stations de perfusion). Applications : Réanimation,

Pédiatrie et Anesthésie. Intérêts : Perfusion adaptée en fonction de la masse corporelle du patient.

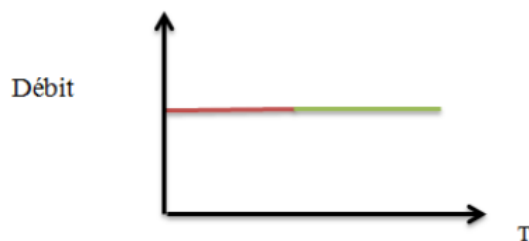


FIGURE 1.17 – Mode d'administration des PSE (Mode alterné)

### Le mode TIVA

Dans ce mode, l'utilisateur ajuste le taux de perfusion et la dose prescrite, tandis que le PSE détermine le volume à administrer par perfusion. Pour ces dispositifs, il est nécessaire d'indiquer l'âge du patient, son sexe, ainsi que son poids. Selon les algorithmes, les champs à compléter peuvent varier. Souvent employés en anesthésie et moins fréquemment en réanimation, ils permettent, par exemple, l'administration d'une dose d'induction (la dose initiale pour endormir le patient) suivie d'un débit constant adapté à la posologie désirée.[4]

### Le mode AIVOC

On considère ce mode comme un sous-type de TIVA ; cependant, ses caractéristiques distinctives justifient un traitement spécifique. Il envisage d'administrer un traitement basé sur le concept d'une dose visant une concentration plasmatique spécifique, c'est-à-dire en termes de quantité de médicament présente dans le plasma. Peu importe les modes, plusieurs PSE sont prévus pour se connecter à une station d'accueil. En tant que source d'alimentation pour recharger les batteries et assurer le fonctionnement de l'appareil, ces stations peuvent offrir des fonctionnalités de contrôle à distance ou de régulation. Il est donc possible de commander ou de surveiller les PSE à distance, ou encore d'effectuer un échange de médicament lorsque la seringue arrive à son expiration.[4]

## 1.3.6 Avantages et inconvénients d'un PSE

### Avantages

- **Précision et exactitude** : Le pousse-seringue offre un contrôle très exact du débit et de la quantité de médicament, généralement avec une marge d'erreur inférieure à 2% . Cela assure la délivrance précise du dosage au moment voulu, ce qui est crucial pour les traitements délicats (anesthésie, réanimation, pédiatrie...).
- **Automatisation** : Une fois configuré, l'appareil fonctionne de façon autonome. Il administre le contenu de la seringue à une cadence régulière sans intervention humaine, diminuant ainsi la charge de travail pour le personnel médical.

- **Débit constant** : Le pousse-seringue garantit une administration constante et ininterrompue du médicament, sans fluctuations ni variations de pression. Cela prévient les variations de concentration dans le sang du patient.
- **Alarmes et sécurité** Il est équipé de capteurs et alarmes :
  - Occlusion (blocage de la ligne),
  - Fin de seringue,
  - Air dans le circuit,
  - Batterie faible.Ces alarmes préviennent les incidents et assurent la sécurité du patient.
- **Flexibilité** : S'adapte à diverses tailles de seringues (10, 20, 50mL) et à différents types de médicaments. Applicable à divers services : unités de soins critiques, salle d'accouchement, salle de chirurgie, etc.
- **Réduction des erreurs** : La programmation numérique et les sécurités intégrées limitent les erreurs humaines :
  - Mauvais dosage,
  - Mauvais débit,
  - Mauvaise manipulation.
- **Amélioration de la qualité des soins** : En raison de sa fiabilité et précision, la pompe à seringue assure un suivi thérapeutique amélioré tout en renforçant la sécurité du patient. Le personnel soignant peut se focaliser sur d'autres types de soins.
- **Gain de temps** : Moins d'interventions manuelles et moins de supervision constante. L'automatisation du processus offre un gain de temps significatif dans les services hospitaliers où le volume de travail est élevé.

## Inconvénients

- **Accroissement du nombre de manipulations et des risques d'erreurs** : chaque manipulation supplémentaire augmente la probabilité d'une erreur humaine (mauvaise technique, oubli d'étape, contamination accidentelle, confusion de produits, etc.), ce qui peut compromettre la sécurité du patient.
- **Interventions plus fréquentes du personnel infirmier** : la charge de travail du personnel soignant est alourdie, ce qui peut engendrer de la fatigue, réduire le temps disponible pour d'autres soins et augmenter les risques d'erreurs par surcharge.
- **Augmentation des risques septiques** : chaque manipulation ou intervention représente une porte d'entrée potentielle pour les agents infectieux, augmentant le risque d'infections nosocomiales ou locales.
- **Contrainte pour le patient** : les gestes répétés et invasifs peuvent provoquer de l'inconfort, de la douleur ou de l'anxiété. Cela peut aussi limiter la mobilité ou la liberté du patient, affectant sa qualité de vie et son moral
- **Coût supplémentaire** : la multiplication des soins, des consommables et des dispositifs engendre une augmentation des dépenses pour l'établissement ou le patient.
- **Perte de temps** : pour le personnel soignant comme pour le patient, ces procédures répétitives rallongent le temps global de prise en charge.

- **Fatigue et stress du patient** : la répétition des actes médicaux peut générer de la lassitude, du stress psychologique et une baisse de l'adhésion au traitement.
- **Usure ou fragilisation des accès (par ex. veineux)** : les manœuvres fréquentes peuvent endommager les voies d'accès (inflammations, phlébites, durcissement des veines), compliquant la poursuite du traitement.
- **Risque de retard thérapeutique** : une erreur ou une complication (infection, rupture de matériel) peut entraîner un arrêt ou un retard dans l'administration du traitement.
- **Impact organisationnel** : surcharge du service infirmier, désorganisation en cas de manque de personnel ou d'afflux de patients nécessitant des soins similaires. [2]

### 1.3.7 Applications Médicale des PSE

Cet appareil facilite la perfusion continue d'un soluté ou d'un médicament à un débit constant, dans une vaste gamme d'applications où l'on peut mentionner les domaines suivants [5] :

- Anesthésie et réanimation
- Bloc opératoire
- Urgences
- Cardiologie
- Néonatalogie

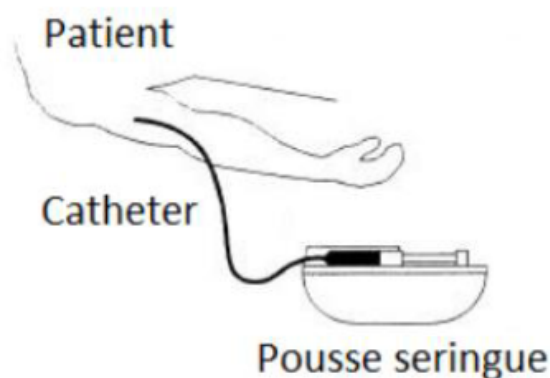


FIGURE 1.18 – Utilisation de le pousse seringue

#### Anesthésie et réanimation

L'anesthésie-réanimation est la branche de la médecine qui se consacre à :

**L'anesthésie** :abolition partielle ou totale de la sensibilité douloureuse (assortie, dans le cas de l'anesthésie générale, d'une perte de conscience et d'une assistance vitale) permettant la réalisation, sans mémorisation et sans douleur, des interventions chirurgicales et des actes médicaux douloureux ou invasifs.

**La réanimation** : prise en charge des patients présentant ou susceptibles de présenter

une ou plusieurs défaillances viscérales aiguës mettant directement en jeu le pronostic vital[4, 5]

## Bloc opératoire et Urgence

Les PSE ont une importance considérable dans les applications médicales, que ce soit en salle d'opération ou aux urgences. On peut mentionner le type de PSE le plus couramment utilisé dans ces secteurs : les pousse-seringues d'anesthésie et ceux de type PSE utilisées en réanimation sont identiques.[4]

## Cardiologie

Le Pousse Seringue est moins fréquemment employé dans les applications médicales en cardiologie, cependant, on peut citer un exemple de son utilisation lors d'un traitement d'urgence face à une tachycardie ventriculaire mal tolérée. On administre la xylocaïne de la manière suivante : On administre de 50 à 75mg, suivi d'une dose de 20 à 50 $\mu$ /kg/min avec une seringue électrique (PSE). En cas d'inefficacité ou de mauvaise tolérance, un choc électrique externe est utilisé si nécessaire. Il est aussi possible d'utiliser l'amiodarone par voie intraveineuse, en particulier lorsqu'une tachycardie ventriculaire se manifeste dans le cadre d'une affection cardiaque.[4]

## Néonatalogie

Lors de la naissance et durant la phase aiguë, l'enfant ne sera pas en mesure de se nourrir de manière autonome. Ainsi, il devra recevoir la quantité adéquate d'eau, de nutriments et de vitamines nécessaires à sa croissance. La parentérale sera administrée par voie intraveineuse à l'aide de pousse-seringues ou de seringues électriques. Dès que la situation le permettra, le lait sera administré via une sonde gastrique (un tube inséré par la bouche jusqu'à l'estomac) à un débit constant. Parfois, la maladie de l'enfant nécessite des traitements pharmacologiques significatifs pour une période qui peut varier. Plusieurs assistants médicaux se trouvent près de l'enfant pour administrer les traitements et la nutrition intraveineuse. Ils sont fournis à une cadence estimée, sur une période de 24 heures. Les ordonnances sont examinées deux fois par jour, ajustées tous les jours, basées sur les résultats des tests sanguins et de l'évaluation clinique du nourrisson. Voici quelques exemples de médicaments administrés par injection : [2]

- Naloxone (Narcan) 2mg/2ml.
- Norépinéphrine 1mg/ml en flacon de 4cc.
- Phénobarbital à 30mg/ml.
- Solu-Médrol en fiole de 40mg.

### 1.3.8 Conclusion

Les seringues occupent une place prépondérante dans le domaine médical, que ce soit en salle d'opération, en urgence, anesthésie, réanimation, cardiologie ou néonatalogie. Elles sont indispensables pour une injection contrôlée où la dose administrée est primordiale dans le traitement de diverses pathologies. La seringue électrique est un instrument extrêmement pratique et couramment employé. Comme avec tout instrument, il est essentiel de comprendre son fonctionnement pour l'utiliser de manière sûre et efficace. Dans ces situations, cet appareil contribue non seulement à un traitement précis, mais participe également à la surveillance des voies veineuses en préservant leur perméabilité. L'infirmier est l'élément essentiel pour une utilisation judicieuse de ce matériel.

## Chapitre 2

### Analyse fonctionnelle du pousse-seringue électrique

# Chapitre 2

## Analyse fonctionnelle du pousse-seringue électrique

### 2.1 Introduction

Dans le secteur de la santé, l'administration de médicaments doit respecter des critères rigoureux de sûreté, d'exactitude et de fiabilité. Il y a des procédures qui exigent l'administration continue et progressive de médicaments (comme les analgésiques, anesthésiques, agents de chimiothérapie, antibiotiques, etc.), une tâche qui ne peut pas être effectuée manuellement par le personnel médical avec une constance et une précision constantes.

Le pousse-seringue est un dispositif biomédical conçu pour répondre à ce besoin. Il permet de contrôler le déplacement du piston d'une seringue allant de  $1cc(cm^3)$  jusqu'à un volume de  $100cc$  de manière motorisée et automatisée, garantissant ainsi un débit constant, réglable et sécurisé. Cet appareil, composé d'une partie mécanique et d'une partie électrique, et bien sûr d'une interface homme-machine (HMI) permettant de configurer les paramètres importants, tels que le débit de médicament à assurer pour le malade ainsi que la période et le mode de perfusion.

Le rôle des pousse-seringues est de délivrer des médicaments de manière continue, grâce à un débit constant qui assure une concentration stable pendant la période d'administration. Ceci permet d'éviter des intervalles où la concentration de médicaments dans le sang est excessivement haute ou basse. Ces produits sont couramment appliqués dans l'administration de traitements anticancéreux, d'insuline, d'antibiotiques, d'antalgiques et d'amines vasopressives au sein de multiples spécialités médicales : anesthésie-réanimation, chirurgie, infectiologie, soins palliatifs...

### 2.2 Analyse fonctionnelle d'un pousse seringue

#### 2.2.1 Présentation de système :

Le système étudié dans ce mémoire est un dispositif médical de perfusion, plus spécifiquement un pousse-seringue. La perfusion est une technique largement utilisée en milieu hospitalier et consiste à administrer un médicament ou une solution nutritive directement dans l'organisme du patient, de façon continue et contrôlée, par voie intraveineuse.

Dans la pratique médicale, cette opération nécessite une grande précision dans le dosage et la régularité du débit, car tout écart peut avoir des conséquences graves pour le patient (surdosage, sous-dosage ou inefficacité du traitement). C'est pourquoi des dispositifs

automatisés comme le pousse-seringue ont été développés pour remplacer ou assister le geste manuel du personnel soignant.

### 2.2.2 Fonction d'usage du système :

La fonction d'usage de l'objet technique est de pousser une seringue de façon continue selon un temps et une vitesse déterminés.

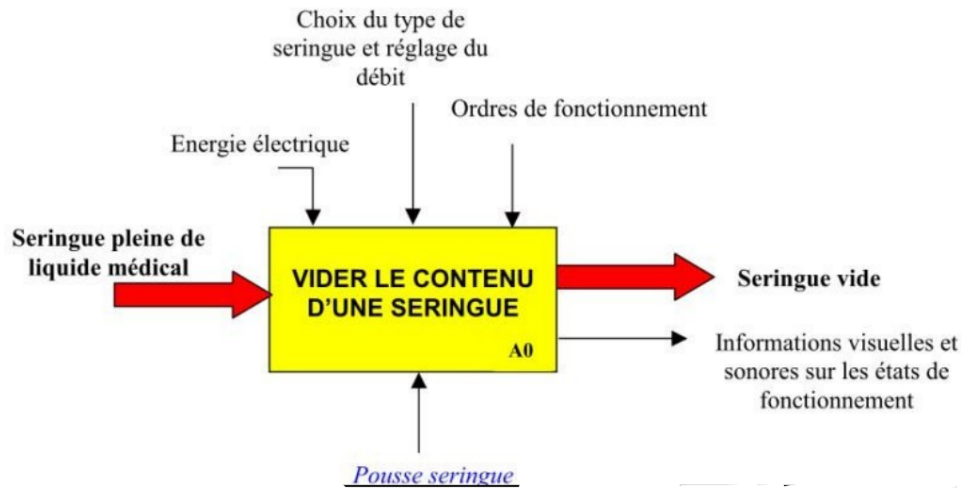


FIGURE 2.1 – Schéma Fonctionnel du PSE (diagramme A0)[6]

### 2.2.3 Enoncés des fonctions de service

La figure suivante montre la fonction de service :

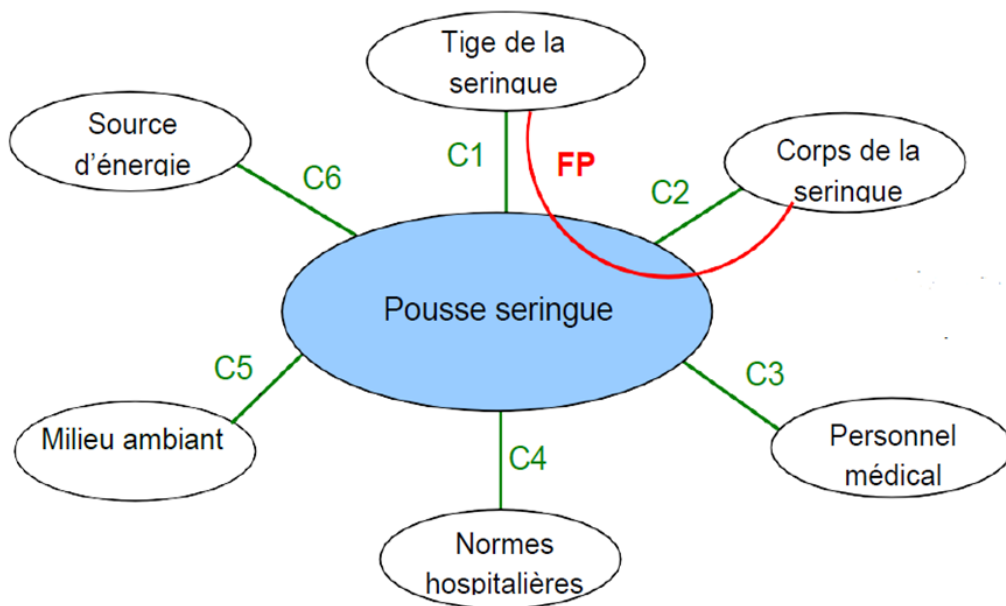


FIGURE 2.2 – La fonction de service (Diagramme pieuvre)[6]

- **FP** :déplacer la tige de la seringue par rapport au corps de la seringue
- C1 : s'adapter à la tige de la seringue.
- C2 : s'adapter au corps de la seringue.
- C3 : s'adapter au personnel médical.
- C4 : s'adapter aux normes hospitalières.
- C5 : s'adapter au milieu ambiant.
- C6 : s'adapter à la source d'énergie.

**2.2.4 Fonction interne de système :**

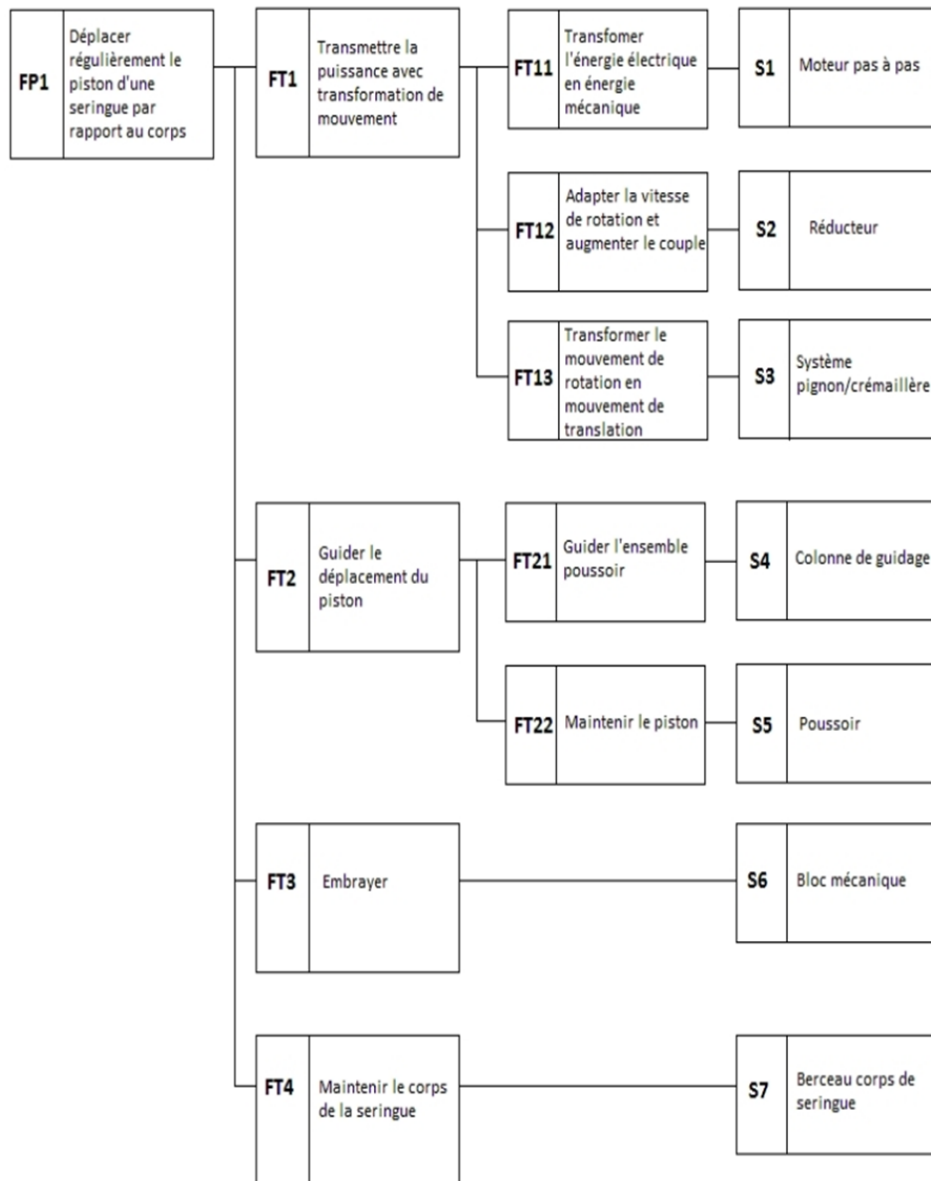


FIGURE 2.3 – l'analyse fonctionnelle interne de système (diagramme FAST)[6]

## 2.3 Cahier des charges

Voici un tableau des besoins et contraintes d'un pousse-seringue :

Catégorie	Besoins (ce que le système doit faire)	Contraintes (ce que le système doit respecter)
Fonction principale	Administrer de façon contrôlée, continue et sécurisée un médicament.	Respect des prescriptions médicales et des normes de sécurité.
Précision et fiabilité	Régler et maintenir un débit précis et constant.	Tolérance d'erreur très faible, fiabilité sur de longues durées.
Compatibilité	Utiliser des seringues standards (10 ml, 20 ml, 50 ml).	Adapter le système à plusieurs tailles sans perte de performance.
Automatisation	Pousser le piston de manière motorisée.	Force mécanique suffisante pour vaincre les frottements et la pression du liquide.
Sécurité	Garantir la sécurité du patient (pas de sur/sous-dosage).	Alarmes en cas de blocage, fin de course, surpression ou défaut électrique.
Ergonomie	Facilité d'utilisation pour le personnel médical.	Interface simple, mise en place rapide de la seringue, dimensions compactes.
Mécanique	Assurer un guidage stable et précis du mécanisme.	Choix de matériaux résistants, durabilité et résistance à l'usure.
Énergie	Fonctionner avec une alimentation électrique adaptée.	Sécurité électrique (normes CEI/ISO), protection contre surtensions et coupures.
Économie et maintenance	Offrir un coût de fabrication raisonnable.	Composants disponibles localement, maintenance et remplacement faciles.

TABLE 2.1 – Tableau des besoins et contraintes du système

À l'issue de ce projet, plusieurs résultats concrets sont attendus :

- Automatisation totale de système afin de minimiser l'erreur médicale
- Amélioration de la batterie pour augmenter la durée de vie de l'appareil
- Changement de la structure de l'appareil en remontant le porte seringue pour faciliter la manipulation

## 2.4 Normes internationales de pousse seringue

En Algérie, les dispositifs médicaux tels que les pousse-seringues doivent répondre aux normes internationales adoptées par l'IANOR (Institut Algérien de Normalisation), qui s'aligne principalement sur les référentiels ISO et IEC utilisés à l'échelle mondiale. Ces normes garantissent la sécurité, la fiabilité et la qualité des dispositifs médicaux mis sur le marché national.

- **IEC 60601-1** : définit les exigences générales relatives à la sécurité et aux performances essentielles des dispositifs médicaux électriques. Elle couvre notamment la protection contre les chocs électriques, les températures excessives, les risques mécaniques et les défaillances susceptibles d'affecter la sécurité du patient ou de l'utilisateur.
- **IEC 60601-1-2** : traite la compatibilité électromagnétique (CEM). Elle vise à s'assurer que le pousse-seringue ne provoque pas d'interférences électromagnétiques avec d'autres équipements médicaux et qu'il reste fonctionnel même en présence de champs électromagnétiques externes.
- **IEC 60601-2-24** : est spécifique aux pompes à perfusion et pousse-seringues. Elle fixe les exigences particulières de performance et de sécurité de ces dispositifs, notamment la précision du débit d'injection, la détection d'occlusions, la gestion des alarmes et la continuité d'alimentation en cas de panne.
- **ISO 14971** : encadre la gestion des risques tout au long du cycle de vie du dispositif médical. Elle impose au fabricant d'identifier, d'évaluer et de maîtriser les risques potentiels liés à l'utilisation du pousse-seringue, afin d'assurer une sécurité maximale pour le patient et le personnel médical.
- **IEC 62304** : concerne le cycle de vie du logiciel intégré dans les dispositifs médicaux. Elle définit les exigences pour le développement, la vérification, la validation et la maintenance du logiciel afin d'assurer sa fiabilité et sa sécurité fonctionnelle.
- **ISO 13485** : spécifie les exigences relatives au système de management de la qualité des fabricants de dispositifs médicaux. Elle garantit que les processus de conception, de fabrication, de contrôle et de traçabilité respectent les standards internationaux de qualité et de conformité réglementaire.
- **ISO 10993** : est une norme internationale qui encadre l'évaluation biologique des dispositifs médicaux. Elle aide les fabricants à déterminer si un dispositif est sûr pour l'usage humain, en définissant quels tests biologiques sont nécessaires selon les matériaux et le type de contact avec le corps.

Avant leur mise sur le marché, les pousse-seringues doivent subir différents essais et validations afin d'assurer leur conformité aux normes internationales. Ces tests portent sur la fiabilité mécanique, la précision du débit, la compatibilité avec plusieurs modèles de seringues ainsi que la validation des alarmes (occlusion, fin d'injection, erreur de calibration). Des essais de durabilité, d'étanchéité et, le cas échéant, de stérilité des parties en contact avec le médicament complètent la phase de validation. La fabrication s'effectue dans un environnement contrôlé, conforme à la norme ISO 14644, généralement en salle propre de classe ISO 7 ou 8, où sont maîtrisées la température, l'humidité et la concentration en particules. Le personnel est formé aux bonnes pratiques de fabrication (BPF/GMP), et les composants électroniques ou plastiques sont soumis à un contrôle rigoureux pour garantir leur conformité aux directives REACH et RoHS. Chaque pousse-seringue doit être entièrement traçable grâce à un identifiant unique (UDI). Un dossier

technique est conservé, incluant les rapports de tests, les calibrations finales et un manuel d'utilisation validé dans la langue du pays de mise sur le marché. Enfin, une surveillance post-commercialisation est assurée par le fabricant. Elle comprend le suivi des incidents, la gestion des rappels éventuels, les mises à jour logicielles et la réévaluation périodique des risques, garantissant la sécurité et la fiabilité du dispositif tout au long de sa durée d'utilisation.[7]

## 2.5 Les matériaux destinés pour les dispositifs médicaux

Les matériaux sont des éléments critiques dans la conception et la performance des dispositifs médicaux. Plusieurs considérations sont essentielles lors du développement de ces dispositifs afin de garantir l'application des facteurs de sécurité. Ces dispositifs interagissent directement avec le corps humain, ce qui a un impact sur la sécurité des patients et la fonctionnalité globale.[8]

### 2.5.1 La biocompatibilité

La biocompatibilité signifie que le matériau peut remplir la fonction pour laquelle il a été conçu sans provoquer de réactions indésirables dans l'organisme. Pour qu'un matériau soit biocompatible, il doit être non immunogène (il ne déclenche pas de réaction immunitaire), non toxique (il ne libère pas de toxines dans l'organisme), non thrombogène (il ne provoque pas la formation de caillots sanguins) ou non cancérigène. Cette propriété est primordiale, en particulier pour les dispositifs destinés à être implantés à long terme. Des tests rigoureux, tels que la sensibilisation, la cytotoxicité, l'irritation et la toxicité systémique, sont effectués conformément à la norme ISO 10993 et aux directives de la FDA pour s'assurer de la biocompatibilité.[8]

### 2.5.2 Propriétés mécaniques

Les dispositifs médicaux doivent résister à des contraintes mécaniques pendant leur emploi, leur extraction et leur insertion. Des caractéristiques mécaniques comme la robustesse, l'élasticité, la résistance à l'épuisement, la dureté et l'endurance à l'abrasion sont essentielles pour assurer que le dispositif médical répond aux exigences opérationnelles. Les matériaux employés dans les implants orthopédiques, par exemple, doivent être robustes et solides, de manière à éviter toute rupture en dépit des pressions auxquelles ils sont soumis. Il est important que les implants aient une forte résistance pour ne pas se casser sous tension, et qu'ils soient durs pour que les outils chirurgicaux et les prothèses ne s'abîment pas facilement.[8]

### 2.5.3 Résistance à la corrosion

L'organisme humain est composé de liquides corporels renfermant des sels, des enzymes, des acides et des protéines, générant ainsi un milieu à la fois hostile et corrosif. Ce milieu peut détériorer certains métaux, ce qui pourrait provoquer la diffusion d'ions métalliques nuisibles dans l'organisme ou la défaillance de l'appareil. Plusieurs sortes de

corrosion peuvent se manifester à l'intérieur de l'appareil. On parle ici de corrosion par fissures (qui survient dans des zones confinées), de corrosion par piqûres (corrosion localisée) et de corrosion galvanique (lorsque deux métaux distincts se touchent). Les métaux dotés de caractéristiques de résistance à la corrosion, de stabilité hydrolytique et de bio-inertie assurent des performances constantes.[8]

### 2.5.4 Sérialisabilité

À un moment donné, les dispositifs médicaux doivent subir un nettoyage intensif pour éliminer les germes. Les procédures telles que l'autoclavage (vapeur à haute pression), l'oxyde d'éthylène (EtO) et le rayonnement gamma sont courantes. Il est essentiel de choisir un matériau capable de subir des stérilisations répétées sans s'affaiblir ni modifier sa composition chimique. Le dispositif pourrait ne pas fonctionner correctement si ces méthodes de stérilisation affaiblissent ou modifient le matériau.[8]

### 2.5.5 Coût de fabrication et faisabilité

Si elle n'est pas gérée efficacement, la fabrication des métaux peut entraîner des coûts importants. Les métaux doivent être formés, usinés, soudés et rapidement transformés en composants souhaités sans compromettre l'efficacité de la fabrication et la rentabilité.[8]

### 2.5.6 Métaux couramment utilisés dans les dispositifs médicaux

#### Aciers inoxydables

- **Le SAE 316L** : est un acier à faible pourcentage de carbone enrichi en molybdène, qui offre une remarquable résistance à la corrosion par rapport au 304 - une option idéale pour la fabrication d'implants, de fils guides et d'instruments chirurgicaux.
- **SAE 304** : est un acier inoxydable souvent utilisé de type austénitique. Il offre une excellente capacité de soudage et une bonne protection globale contre la corrosion. On l'emploie dans une multitude d'applications médicales, comme les aiguilles hypodermiques et les instruments chirurgicaux.
- **Les aciers inoxydables SAE 440 et SAE 420** : sont parfaits pour la fabrication de divers instruments chirurgicaux. Même si leur capacité à résister à la corrosion n'égale pas celle des aciers de la série 300, les aciers de la série 400 présentent une résistance et une dureté supérieures. Ceci est attribué à leur teneur supérieure en carbone, qui favorise un traitement thermique facilitant ainsi l'usinage. Elles sont appropriées pour les scalpels, les ciseaux de chirurgie, les pinces, les porte-aiguilles ainsi que les écarteurs.
- **Le 17-4 (17-4 PH)** : Il s'agit d'un matériau martensitique durcissable par précipitation, de qualité 630. Ce matériau offre une robustesse et une dureté remarquables, ce qui le rend idéal pour une multitude d'applications dans les équipements médicaux, y compris les dispositifs de traitement chimique et les aciers chirurgicaux.[8]

#### Alliages cobalt-chrome (CoCrMo, CoCrWNi)

Il s'agit de métaux couramment utilisés dans la fabrication d'équipements médicaux. Ils sont connus pour leur solidité exceptionnelle, leur grande résistance à l'usure, leur biocompatibilité et leur capacité à supporter des températures élevées.

- **Le CoCrMo** : présente une remarquable résistance à l'abrasion, une robustesse importante et une bonne biocompatibilité. Il est parfait pour les prothèses articulaires supportant telles que les genoux et les hanches. Ces propriétés sont améliorées par le molybdène.
- **Le CoCrWNi** : qui intègre du tungstène et du nickel, se distingue par sa robustesse face à l'usure et sa dureté élevée. Il est fréquemment employé dans les pièces exposées à des températures hautes et à l'abrasion, comme certaines sortes de prothèses internes, les outils dentaires et les éléments des systèmes de substitution articulaire.[8]

### **Titane et ses alliages (Ti-6Al-4V, titane commercialement pur)**

Le titane est la meilleure alternative à l'acier inoxydable, en particulier pour les prothèses osseuses. Il s'agit d'un matériau léger doté d'une biocompatibilité exceptionnelle, qui s'intègre souvent directement au tissu osseux (ostéointégration). La biocompatibilité du titane est due à sa nature inerte. Il s'agit d'un matériau haut de gamme par rapport à l'acier inoxydable, apprécié pour les pièces à très hautes fiabilités laissées à l'intérieur du corps du patient après une intervention chirurgicale.

- Le titane commercialement pur (CP-Ti) est un titane non allié qui se présente sous quatre formes (1-4). Le CP-Ti présente une excellente biocompatibilité et n'est pas magnétique.
- Les grades 1 et 2 ont une résistance plus faible, ce qui les rend plus formables et ductiles. Ils sont utilisés dans les instruments chirurgicaux et les implants dentaires.
- Les grades 3 et 4 sont plus substantiels et moins ductiles. Ils sont idéaux pour les implants orthopédiques (hanche, articulation, épaule), les cages de fusion vertébrale et les plaques de fixation pour les traumatismes.
- Le Ti-6Al-4V, ou titane de grade 5, est un alliage d'aluminium et de vanadium. Il offre un excellent rapport résistance/poids tout en étant plus léger que des métaux comme l'acier. Il résiste remarquablement bien à la corrosion due aux fluides corporels. Il est très utilisé dans le domaine médical pour la fabrication de dispositifs cardiovasculaires et d'implants maxillo-faciaux.[8]

### **Nitinol (alliage de nickel et de titane)**

Cet alliage a la remarquable propriété de mémoire de forme (qui lui permet de retrouver sa forme d'origine lorsqu'il est exposé à la chaleur) et de superélasticité (qui lui confère l'aptitude à regagner sa forme initiale après avoir été déformé). Ces attributs intrinsèques ont transformé radicalement certains équipements médicaux. Toutefois, malgré ces bénéfices, le danger de libération de nickel et les préoccupations relatives à la biocompatibilité doivent être soigneusement examinées. Cet alliage, grâce à ses caractéristiques particulières, est utilisé dans la fabrication de stents, de fils-guides, d'arcs orthodontiques, de cathéters, et plus encore.[8]

### **Cuivre**

Les concepteurs ne sont pas particulièrement en faveur du cuivre pour les implants médicaux, étant donné sa nature ductile. Il possède des caractéristiques antimicrobiennes

qui le rendent extrêmement utile. Dans les autres propriétés du cuivre, on peut mentionner sa conductivité électrique élevée et sa biocompatibilité (dans un environnement maîtrisé). Le cuivre a des applications médicales qui comprennent les surfaces à contact fréquent (à propriétés antimicrobiennes) comme les barrières de lit, les poignées de porte, les interrupteurs, ainsi que les bandages, les dispositifs intra-utérins en cuivre et certains implants tels que les prothèses et implants dentaires. Elle joue un rôle crucial en matière de conductivité électrique dans les dispositifs tels que les IRM, les pacemakers, les défibrillateurs et les lasers utilisés en chirurgie.[8]

## Aluminium

C'est un métal léger, qui n'est pas magnétique, possédant une conductivité thermique supérieure et une forte résistance à la corrosion. Même s'il n'est pas couramment employé dans les produits qui touchent directement le corps du patient, on peut l'utiliser dans les dispositifs médicaux qui nécessitent d'être à la fois légers et robustes. L'aluminium brut s'oxyde et se ternit rapidement, il est donc essentiel d'avoir une finition de surface pour assurer sa durabilité. Des exemples d'applications incluent les dispositifs orthopédiques, les chaises roulantes et les outils médicaux.[8]

### 2.5.7 Les polymères

Les applications des polymères dans le domaine des biomatériaux sont très nombreuses. Deux catégories sont principalement employées selon leurs usages :

- **Les polymères fonctionnels** : L'objectif est de produire des caractéristiques chimiques spécifiques à l'interface entre le matériau et le tissu vivant afin d'optimiser l'interaction avec les ostéoblastes ou fibroblastes. En outre, on peut améliorer le polymère en y ajoutant des groupements ionisés comme les orthophosphates, les carbonates, les carboxylates, etc., notamment par le biais de l'implantation ionique ou du greffage, ce qui modifie leur état de surface.
- **Les polymères résorbables** : Les copolymères d'acide lactique et d'acide glycolique sont souvent employés en chirurgie orthopédique traumatologique, alors que les polyanhydrides et/ou polyaminoacides sont utilisés pour des fonctions de libération retardée de médicaments. Ils visent à être complètement intégrés par l'hôte lors de leur interaction avec celui-ci.

### 2.5.8 Les céramiques

Les céramiques sont des matériaux plus récents dans le domaine des biomatériaux car ils sont relativement difficiles à mettre en œuvre compte tenu de leur haut point de fusion et de leur comportement fragile. Cependant, trois céramiques majeures se distinguent régulièrement dans ce domaine : L'alumine, la zircone ainsi que les céramiques contenant du phosphate de calcium. La dernière catégorie comprend de l'hydroxyapatite (HAP) et du phosphate tricalcique  $\beta$  (TCP). Ces matériaux, en raison de leurs caractéristiques se rapprochant de la matrice minérale de l'os humain et leur capacité à être osteoconducteurs, sont très captivants. Toutefois, le tissu osseux, qui constitue 65% de la masse totale d'un individu, demeure mal compris. Bien que sa formule chimique soit similaire à celle de l'hydroxyapatite, son organisation spatiale diffère. Les fibres de collagène sont associées aux cristaux d'HAP. Le principal défi pour la conception d'un implant sera de produire

une HAP tout en contrôlant la dimension de ses pores pour encourager la colonisation cellulaire. En outre, selon les méthodes d'application, la maîtrise de la structure cristalline et de la stabilité du matériau est encore un défi. Dans ce contexte, on peut classer les bioverres de Hench et les verres phosphatés dans cette catégorie, car ils créent un lien presque chimique avec le tissu osseux.

### 2.5.9 Les matériaux d'origine naturelle

Ils sont logiquement biocompatibles puisqu'ils constituent l'organisme. Il est possible de dénombrer des tissus recyclés comme les valves porcines, carotide de bœuf, veine ombilicale... mais aussi les extraits d'origine naturelle comme la chitine (polysaccharide extrait des coquilles de crabe utilisée pour les fils de suture, la chirurgie reconstructive et la peau artificielle); les fucanes extrait des algues marines (anticoagulant); cellulose pour les membranes de dialyse; le collagène animal (extrait de la peau) ou humain (extrait du placenta) pour de nombreuses applications telles que les implants oculaires, la cosmétologie, la peau artificielle... Chimie minérale pharmaceutique 2ème année pharmacie Les dispositifs médicaux Page 6 Ainsi suivant les matériaux mis en oeuvre et l'application, des implants ou prothèses de différentes caractéristiques peuvent être [9]

## 2.6 Architecture mécanique et composants d'entraînement du dispositif

### 2.6.1 Moteur pas à pas

#### définition

Le moteur pas à pas (aussi appelé stepping motor en anglais) : se définit comme un dispositif électromécanique qui convertit un signal électrique impulsionnel en mouvement mécanique, qu'il soit angulaire ou linéaire. Il se compose fondamentalement de deux éléments distincts mécaniquement, à savoir le Stator et le Rotor. La rotation est assurée par l'interaction électromagnétique entre ces deux éléments. Il s'agit d'un appareil électromagnétique dont la rotation peut être minutieusement réglée. Pour obtenir cela, diverses bobines sont agencées en « phases », et l'activation séquentielle de ces phases provoque une rotation. L'un des atouts majeurs de cette catégorie de moteur est son aptitude à réguler avec précision sa vitesse et son emplacement. C'est pour cette raison qu'il est employé dans les applications nécessitant une grande exactitude, comme les pousse-seringues électriques. Un moteur pas-à-pas est un type de moteur à courant continu qui avance d'un pas unique lorsque l'orientation du courant dans une des bobines se modifie. Les moteurs pas-à-pas sont des micromoteurs à réluctance, également appelés à réluctance variable, qui opèrent par l'attraction d'une masse polaire (le rotor) à travers un champ magnétique. Chaque étape (1 - 2 - 3) du stator reçoit successivement un signal électrique traditionnellement positif ou négatif en fonction de la direction du courant dans la bobine. Les impulsions sont transmises selon une séquence de distribution préétablie et à une fréquence définie et ajustable.

Chaque impulsion correspond à un mouvement angulaire désigné par le terme pas ou « step ». Un "pas" est une unité de décalage angulaire, en général : 1,8 degrés. (le moteur aura alors 200 pas.)  $1,8^\circ \times 200 = 360^\circ$ . [10]



FIGURE 2.4 – Moteur pas à pas

### Les différents types de moteur pas à pas

Il existe deux types de moteur pas à pas, unipolaire et bipolaire. La principale différence entre les deux réside dans l'organisation de leurs bobinages, car cela a un impact sur leur mode de contrôle.

- **Unipolaire** : Ce genre de moteur pas à pas comprend un seul bobinage avec une connexion intermédiaire. Chaque segment du bobinage est stimulé selon l'orientation souhaitée du champ magnétique, ce qui facilite le renversement des pôles sans modifier la direction du courant. Il est courant d'avoir une prise médiane et même si un moteur pas à pas unipolaire à deux phases a habituellement 6 fils (3 par phase), les deux communs peuvent être connectés en interne, ne laissant en fait que cinq fils.
- **Bipolaire** : À l'inverse d'un moteur pas à pas unipolaire, la variante bipolaire ne comporte qu'une unique bobine par phase et ne dispose pas de connexions intermédiaires. Pour effectuer l'inversion du pôle magnétique, la direction du courant doit également être changée, ce qui implique que ce type de moteur est généralement plus complexe à réguler et requiert une configuration en pont H. En l'absence de prise médiane, chaque phase est associée à deux fils et un moteur biphasé standard comprend quatre fils. Bien que ces moteurs soient plus compliqués à maîtriser, ils possèdent également leurs atouts, car ils exploitent plus efficacement le bobinage et sont plus puissants que des moteurs unipolaires de dimensions équivalentes. Ceci est attribué à la caractéristique que les moteurs pas à pas unipolaires possèdent une densité de fil qui est le double, tandis que seulement la moitié de ces fils peut être utilisée à tout moment donné, ce qui signifie que l'efficacité de ce type de moteur ne dépasse pas 50%. [10]

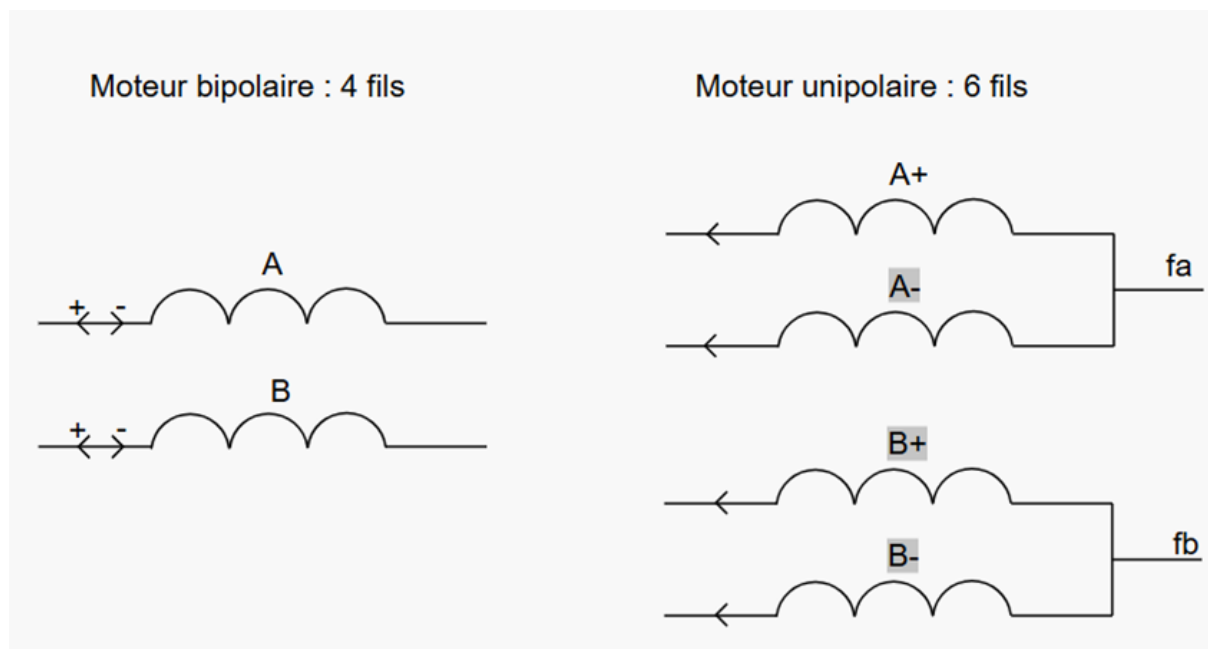


FIGURE 2.5 – schéma des bobines d'un moteur bipolaire et d'un moteur unipolaire

### Avantages et inconvénients

#### Avantages

- Fonctionnement en boucle ouverte (pas de régulation nécessaire).
- Pas besoin de codeur incrémental
- Précision des pas élevés.
- Moteurs pas à pas linéaires Existants.

#### inconvénients

- Électronique de commande plus complexe que pour le moteur DC.
- Puissance inférieure à encombrement égal.

## 2.6.2 Les engrenages

L'industrie utilise fréquemment les transmissions par engrenage. Elles sont extrêmement utiles pour transmettre des couples significatifs, générer une haute vitesse de rotation et effectuer un changement de direction dans le mouvement rotatif.

### Définition

Un engrenage est un mécanisme composé de deux roues dentées mobiles autour d'axes de position fixe et dont l'une entraîne l'autre par l'action de dents successivement en contact et on dit que les deux roues sont conjuguées. La plus petite roue est appelée pignon, la plus grande est la roue. Le rapport de vitesses obtenu entre l'entrée et la sortie ne dépend que des nombres de dents des roues en contact. On transmet la force entre deux arbres proches, en modifiant le couple transmis et la vitesse de rotation, le rapport des vitesses étant strictement respecté ; les deux arbres peuvent être parallèles, concourants, orthogonaux ou adopter toute autre position relative. Un système d'engrenages plus petit (pignon) entraînant un engrenage plus grand réduit la vitesse de sortie tout

en augmentant proportionnellement le couple disponible, un principe fondamental utilisé dans les réducteurs pour augmenter la force de rotation nécessaire au déplacement de charges lourdes. La précision de leur conception permet un transfert de mouvement fluide et fiable, assurant la performance requise dans de nombreuses applications industrielles et mécaniques.[11]

## Classification des engrenages [11]

### La position relative des axes :

#### → Engrenages cylindriques parallèles

Suivant la disposition des roues et la fonction des axes, l'engrenage parallèle peut se subdiviser en quatre groupes.

1. **Engrenage cylindrique extérieur** : constitué par deux roues dentées extérieures : un pignon et une roue,
2. **Engrenage cylindrique intérieur** : constitué par deux roues, l'une extérieure, l'autre intérieure : un pignon et une couronne.
3. **Engrenage à crémaillère** : composé d'une roue cylindrique extérieure et d'une crémaillère. La crémaillère peut être considérée comme une roue cylindrique extérieure de diamètre infiniment grand.
4. **Train planétaire simple** : se composant de quatre éléments : une roue solaire, une couronne de train planétaire, une ou plusieurs roues planétaires et d'un châssis

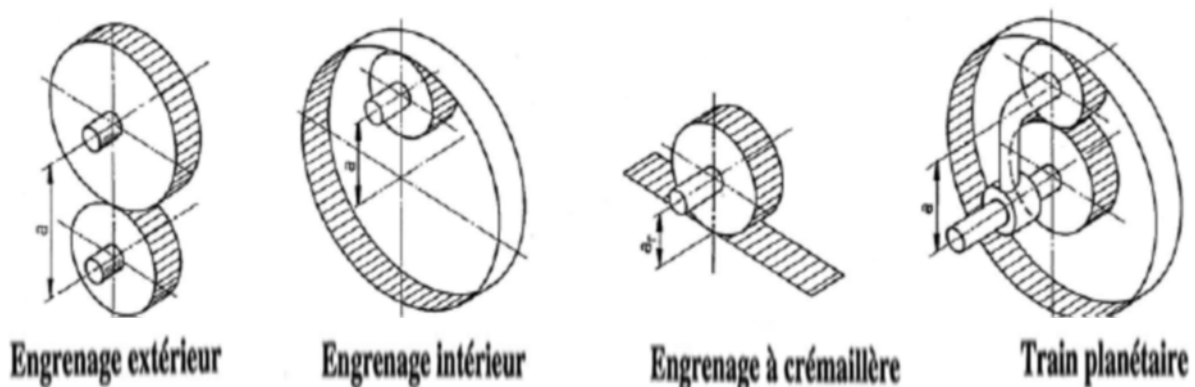


FIGURE 2.6 – Engrenages parallèles à roues cylindriques.

#### → Engrenages à axes concourants

Dans les engrenages à axes concourants, les surfaces primitives sont des troncs de cône qui roulent l'une sur l'autre sans glisser. Les dispositions usuelles des roues sont :

1. **engrenage conique extérieur** : constitué de deux roues dentées coniques extérieures : un pignon et une roue.
2. **engrenage conique intérieur** : composé de deux roues coniques, l'une extérieure, l'autre intérieure : un pignon et une couronne.
3. **engrenage conique à roue plate** : constitué de deux roues dentées coniques : un pignon et une roue plate. Cette roue plate est une roue dont l'angle primitif de référence est  $90^\circ$ . Elle peut être considérée comme le pendant de la crémaillère dans les engrenages coniques.

4. **train planétaire conique** : constitué par trois roues dentées coniques au moins et un châssis, l'une des roues ayant un axe mobile par rapport aux deux autres

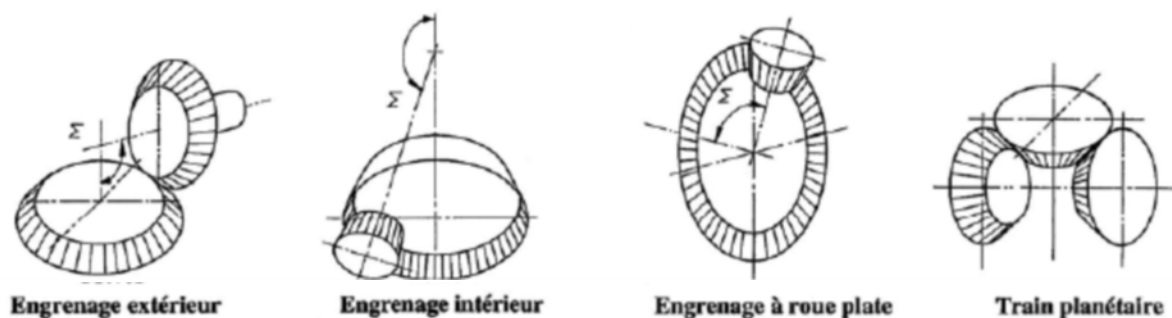


FIGURE 2.7 – Engrenages coniques à axes concourants.

→ **Direction des flancs de la denture**

• **Roues cylindriques**

Suivant l'orientation des lignes de flanc des dentures sur les roues cylindriques, nous pouvons distinguer :

1. **roues cylindriques à denture droite** : dites roues droites. Sur les cylindres primitifs de référence, les lignes de flanc sont des génératrices,
2. **roues cylindriques à denture hélicoïdale** : dites roues hélicoïdales. Sur les cylindres primitifs de référence, les lignes de flanc sont des hélices,
3. **roues cylindriques à denture en chevron** : dites roues en chevron. Sur les cylindres primitifs de référence, une portion de la largeur de denture est à denture hélicoïdale à droite, l'autre à gauche, avec ou sans solution de continuité
4. **roues cylindriques à denture spirale** : dites roues spirales. Sur les cylindres primitifs de référence, les lignes de flanc sont des lignes courbes autres que des hélices.

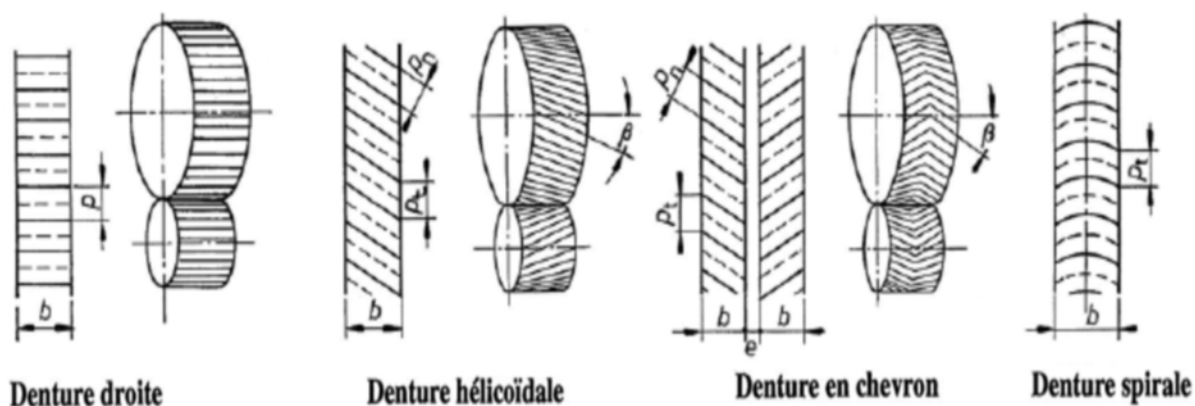


FIGURE 2.8 – Roues cylindriques : orientation des lignes de flanc de la denture

• **Roues coniques**

1. **roues coniques à denture droite** : dites roues droites coniques. Sur le cône primitif de référence, les lignes de flanc sont des génératrices et sur la roue plate des rayons.
2. **roues coniques à denture inclinée** : dites aussi roues hélicoïdales coniques. Sur le plan de référence de la roue plate, les lignes de flanc sont des segments rectilignes différents des rayons.
3. **roues coniques à denture spirale** : dites roues spirales coniques. Sur le plan de référence de la roue plate, les lignes de flanc sont des courbes comme des arcs de cercle, de cycloïde, de développante, de spirale, etc. . . , Un cas particulier est donné par un flanc de dent à direction radiale au milieu de la largeur  $b$  de la roue.

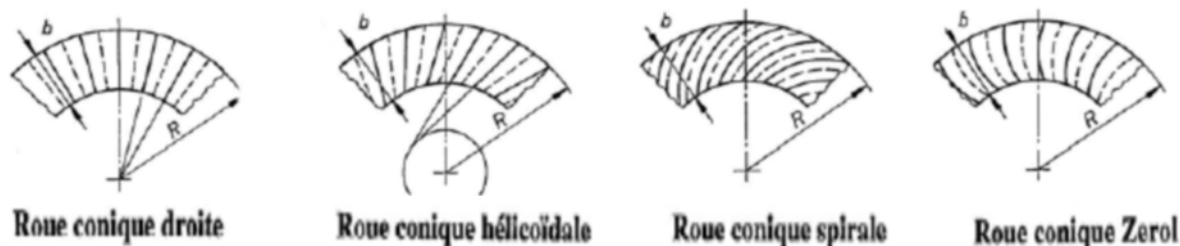


FIGURE 2.9 – Roues coniques : orientation des lignes de flanc sur la roue plate

## Matériaux de fabrication

Un grand nombre de matériaux est utilisé pour la fabrication des engrenages :

### • Métaux ferreux

#### 1. Aciers

- Aciers au carbone (simples, économiques) : engrenages courants.
- Aciers alliés (nickel, chrome, molybdène. . . ) : résistance élevée, usure et fatigue améliorées.
- Souvent traités thermiquement (cémentation, trempe, revenu, nitruration) pour durcir la surface et garder un cœur tenace.

#### 2. Fonte grise

- Bonne coulabilité, amortissement des vibrations, faible coût.
- Utilisée pour engrenages à vitesses modérées, peu sollicités.

#### 3. Fonte à graphite sphéroïdal (fonte GS)

- Plus résistante que la fonte grise.
- Bon compromis coût/résistance.

### • Métaux non ferreux

#### 1. Bronzes (cuivre + étain/alu)

- Très bonne résistance au frottement, faible usure.
- Utilisés pour pignons vis sans fin (réduction bruit, éviter grippage).

#### 2. Laitons

- Résistance correcte, économique.

— Petits engrenages, instruments de précision.

### 3. Aluminium et alliages légers

— Légers, bonne résistance à la corrosion.

— Utilisés quand le poids est critique (aéronautique, robotique légère).

### • Matériaux non métalliques

#### 1. Plastiques techniques (PA, POM, Nylon renforcé fibre de verre, acétal...)

— Légers, silencieux, auto-lubrifiants.

— Bonne résistance chimique, mais limité en charge et température.

— Applications : imprimantes, électroménager, petits mécanismes de précision.

#### 2. Composites

— Plus rares, utilisés pour réduire bruit et poids dans des applications spécifiques.

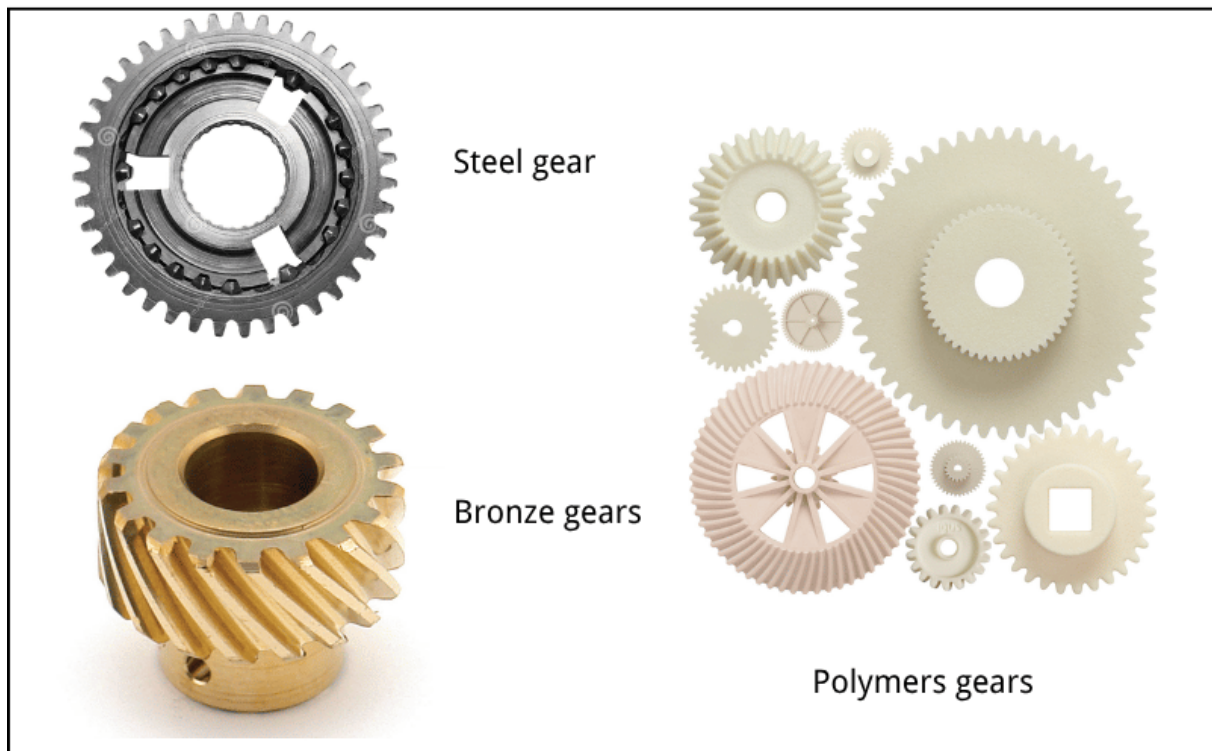


FIGURE 2.10 – les différents engrenage

N	Exigences et exemples d'utilisation	Matériaux	
		Pignon	Grande roue
1	Petites charges et petites vitesses ; Fonctionnement intermittent, treuil.	Ft, A 42, A 50, matières plastiques.	Ft 15, Ft 20, matières plastiques
2	Charges et vitesses moyennes ; transmission usuelle, installation de transport, petites machines-outils.	Ft, A 50, A 60, acier moulé, matières plastiques.	Ft 20, Ft 25, Ft 30, FGS 380, FGS 420, 190-380M, 230-450M, matières plastiques
3	Charges et vitesses élevées, réducteurs universels, machines-outils, construction de machines en général.	A 60, A 70, Aciers d'amélioration.	de Ft 30 à Ft 40, de FGS 500 à FGS 700, 260-520M, 300-600M, Acier d'amélioration (bandage)
4	Les exigences les plus élevées ; automobiles, machines motrices, réducteurs de bateaux.	A 60, A 70, Aciers d'amélioration.	300-600M, Acier d'amélioration, acier de cémentation (bandage).

TABLE 2.2 – Instructions pour le choix des matériaux pour les engrenages cylindriques et coniques [11]

### caractéristiques Principales d'engrenage

Caractéristique	Symbole ISO	Relation et unités
Module	$m$	Par un calcul de RDM
Pas	$p$	$p = \pi m$ (mm)
Nombre de dents	$z$	Par un rapport de vitesse
Diamètre primitif	$d$	$d = m z$ (mm)
Diamètre de tête	$d_a$	$d_a = d + 2m$ (mm)
Diamètre de pied	$d_f$	$d_f = d - 2.5m$ (mm)
Entraxe	$A$	$a = \frac{d_1 + d_2}{2}$ (mm)
Angle de pression	$\alpha$	Valeur usuelle : 20°

TABLE 2.3 – caractéristiques Principales d'engrenage a denture droite

Caractéristique	Symbole ISO	Relation et unités
Module réel	$m_n$	(mm)
Module apparent	$m_t$	(mm)
Pas réel	$p_n$	$p_n = \pi m_n$ (mm)
Pas apparent	$p_t$	$p_t = \pi m_t$ (mm)
Nombre de dents	$z$	Par un rapport de vitesse
Diamètre primitif	$d$	$d = m_t z$ (mm)
Diamètre de tête	$d_a$	$d_a = d + 2m_n$ (mm)
Diamètre de pied	$d_f$	$d_f = d - 2.5m_n$ (mm)
Entraxe	$a$	$a = \frac{d_1 + d_2}{2}$ (mm)
Angle d'hélice	$\beta$	$15^\circ < \beta < 30^\circ$
Angle de pression	$\alpha$	Valeur usuelle : $20^\circ$

TABLE 2.4 – caractéristiques Principales d'engrenage à denture hélicoïdale

### Les vis trapézoïdales

La vis trapézoïdale est une tige filetée, la tige filetée est en mécanique le composant mâle d'un système vis/écrou destiné à l'assemblage de pièces ou à la transformation de mouvement. Son complément, pièce femelle, est l'écrou. Les vis trapézoïdales permettent la conversion d'un mouvement de rotation en un mouvement de translation.



FIGURE 2.11 – vis trapézoïdale

## 2.7 Partie électronique et système de commande du pousse-seringue

### 2.7.1 L'alimentation

Pour assurer le bon fonctionnement du dispositif, il est important de souligner que le pousse-seringue peut être alimenté selon deux modes :

- Une alimentation directe en 220 V issue du secteur,
- Une batterie interne fournissant une tension de 12 V, garantissant ainsi une autonomie moyenne lorsque l'appareil est utilisé sans branchement électrique, selon les observations rapportées par le personnel infirmier.

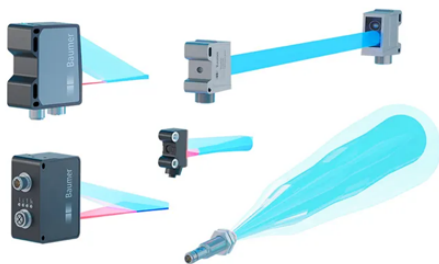
Cette alimentation est utilisée pour fournir les tensions nécessaires au fonctionnement des différents sous-systèmes du dispositif :

- 12 V pour la commande du moteur pas à pas, qui assure le déplacement linéaire du piston de la seringue,
- Et une tension régulée comprise entre 5 et 6 V pour l'alimentation des circuits de commande, notamment le microcontrôleur et les capteurs assurant la régulation et la sécurité du système.[4]

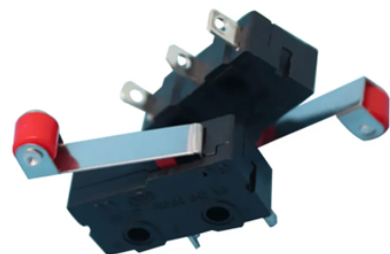
### 2.7.2 Collection d'information

Pour assurer le bon fonctionnement du dispositif, un ensemble de capteurs de différents types (analogiques et numériques) est utilisé. Ces capteurs facilitent les opérations de commande et permettent d'obtenir une grande précision dans le fonctionnement global du système. On peut classer les capteurs utilisés dans le pousse-seringue en trois grandes catégories :

1. **Capteurs logiques « Tout ou Rien » (TOR) :** Ces capteurs délivrent deux états possibles : actif ou inactif, présence ou absence, ouvert ou fermé. Ils sont généralement utilisés comme détecteurs de position, de fin de course ou de proximité. Dans le pousse-seringue, ils permettent de déterminer la position des composants mécaniques, comme la présence de la seringue, la position du piston ou la fin du déplacement du chariot.[4]



(a) Capteur de type TOR laser



(b) capteur de type TOR fin de course

2. **Capteur numérique** : Les capteurs numériques sont des dispositifs qui fournissent des signaux sous forme binaire (0 ou 1). Ils sont utilisés pour mesurer ou détecter des grandeurs physiques traduites ensuite en informations numériques exploitables par le microcontrôleur. Dans le cas du pousse-seringue, le capteur numérique le plus couramment utilisé est l'encodeur. Celui-ci sert à détecter le mouvement, la vitesse angulaire et la position du moteur pas à pas, garantissant ainsi un contrôle précis du déplacement du piston. Les encodeurs se divisent principalement en deux types :
- **Encodeur rotatif incrémental** : fournit des impulsions à chaque rotation ou déplacement partiel de l'arbre moteur. Il permet de mesurer la vitesse et le sens de rotation, mais ne conserve pas la position exacte en cas d'arrêt ou de coupure d'alimentation.



FIGURE 2.13 – Encodeur rotatif incrémental

- **Encodeur rotatif absolu** : délivre une valeur numérique unique pour chaque position de l'arbre. Il conserve ainsi la position exacte même après une coupure de courant, ce qui le rend particulièrement adapté aux dispositifs nécessitant une haute fiabilité et une grande précision, comme le pousse-seringue.[4]



FIGURE 2.14 – Encodeur rotatif absolu

3. **Capteur analogique** : Ce type de capteur est utilisé pour mesurer des grandeurs physiques continues, telles que la pression, la force, la position ou la vitesse. Contrairement aux capteurs logiques, les capteurs analogiques délivrent une valeur variable proportionnelle à la grandeur mesurée. Dans le cas du pousse-seringue, ces capteurs sont souvent utilisés pour contrôler la pression exercée sur la seringue et garantir une injection stable et sécurisée. Les signaux analogiques qu'ils délivrent sont généralement compris entre 0 et 5 volts, et sont convertis en valeurs numériques par le

convertisseur analogique-numérique (CAN) du microcontrôleur. Ainsi, une variation de tension entre 0 et 5 V correspond à une valeur numérique comprise entre 0 et 1023 (pour une conversion sur 10 bits). Ce type de capteur permet donc d'obtenir une mesure fine et continue du paramètre surveillé, assurant une grande précision dans la commande et la régulation du pousse-seringue.[4]

### 2.7.3 Capteur utilisé dans le pousse-seringue

Les capteurs constituent des éléments essentiels du pousse-seringue, car ils permettent d'assurer la sécurité, la précision et la fiabilité du système d'injection. Chaque capteur joue un rôle spécifique dans la surveillance et le contrôle du fonctionnement de l'appareil. Leur intégration permet au microcontrôleur de recueillir en temps réel les informations nécessaires pour réguler la vitesse du moteur, vérifier la présence de la seringue et garantir un débit d'injection constant. Les principaux capteurs utilisés dans un pousse-seringue sont :

- Le capteur de position ou encodeur
- Le capteur de fin de course,
- Le capteur de pression (ou de force),
- Le capteur de présence de seringue.

Il n'est pas possible d'englober l'ensemble des capteurs utilisés dans le pousse-seringue, car il existe des secrets de conception et de fabrication propres à chaque modèle. Ces informations techniques ne sont généralement pas divulguées par les fabricants pour des raisons de propriété industrielle et de sécurité médicale. Ainsi, l'identification précise de tous les capteurs internes ne peut être réalisée qu'à travers une analyse détaillée ou un démontage complet de l'appareil, ce qui n'est pas toujours envisageable dans le cadre d'un travail académique.[4]

### 2.7.4 Actionneur motorisation

Dans notre cas, le système d'un pousse-seringue exige une grande précision dans le contrôle du débit et de la quantité de fluide injectée. Pour répondre à cette exigence, il est nécessaire d'utiliser un moteur pas à pas à angle de pas réduit, garantissant une excellente exactitude dans le déplacement du piston. Ce type de moteur permet de contrôler avec fiabilité la quantité de matière injectée, même pour des volumes très faibles. Dans le domaine de la précision et du positionnement, les moteurs pas à pas sont couramment utilisés, car ils assurent une translation fluide et régulière du mécanisme tout en maintenant une stabilité élevée du mouvement. Leur fonctionnement discret par pas successifs rend possible un contrôle précis de la vitesse, de la position et du volume injecté — qualités essentielles pour un dispositif médical tel que le pousse-seringue.[4]

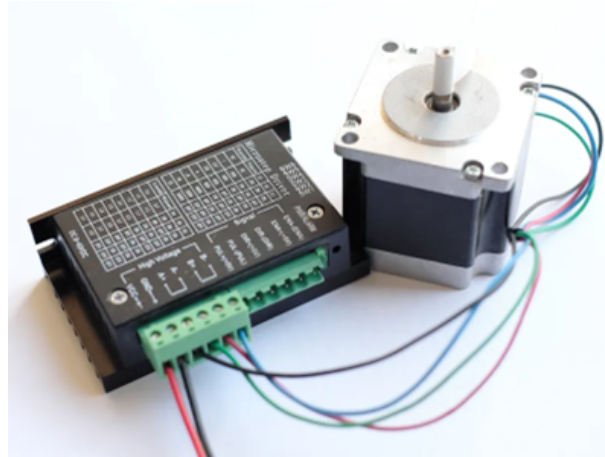


FIGURE 2.15 – c moteur pas a pas type Nema

Et pour le commander, il est nécessaire d'un contrôleur externe en rapport avec le moteur

### 2.7.5 Microcontrôleur

Dans cette étape, nous considérons le microcontrôleur comme le cœur du système. Il assure la coordination homogène entre tous les composants du pousse-seringue, en gérant à la fois les signaux de commande, la lecture des capteurs et le pilotage du moteur. Le microcontrôleur représente ainsi l'élément principal qui garantit le fonctionnement synchronisé et précis de l'ensemble du dispositif. Dans la majorité des équipements similaires, on retrouve des microcontrôleurs appartenant à la famille des PIC de gamme mid-range, tels que les PIC16F et PIC18F. Ces circuits sont très appréciés pour leur polyvalence et leurs caractéristiques techniques avancées, notamment :

- Une large plage de broches d'E/S configurables,
- La prise en charge de plusieurs protocoles de communication intégrés comme I<sup>2</sup>C, SPI et UART,
- La présence d'entrées analogiques et de sorties PWM,
- Et une architecture simple et fiable, facilitant la programmation et le contrôle de divers dispositifs électroniques.

Grâce à ces fonctionnalités, le microcontrôleur permet de commander et d'automatiser l'ensemble du pousse-seringue, depuis la lecture des capteurs jusqu'au contrôle précis du moteur pas à pas.[10]



FIGURE 2.16 – pic 16 F 877

### 2.7.6 Alarme

Dans l'appareil d'origine, on remarque la présence d'un système d'alarme sonore qui se déclenche à différents moments de fonctionnement. Un signal sonore bref est généralement émis lors du passage d'une étape à une autre, tandis qu'une alarme plus longue ou répétée retentit au début ou à la fin de la procédure d'injection. Ce système d'alerte permet à l'utilisateur (souvent le personnel infirmier) d'être informé en temps réel de l'état du dispositif, sans avoir besoin de surveiller visuellement l'écran. L'alarme est réalisée à l'aide d'un buzzer actif, un composant électronique capable de produire un signal sonore lorsqu'il est alimenté électriquement.

Ce buzzer est commandé par le microcontrôleur, qui l'active en fonction des événements programmés (début d'injection, fin de cycle, anomalie, etc.) .[10]



FIGURE 2.17 – active buzzer

### 2.7.7 Affichage

Pour l'affichage des informations, on peut choisir entre trois types d'afficheurs, selon les besoins du système et le niveau de lisibilité souhaité :

1. **Afficheur digital (à 7 segments)** : Ce type d'afficheur est constitué de diodes électroluminescentes (LED) organisées en segments. Il est principalement utilisé pour afficher des valeurs numériques simples telles que la vitesse, le temps ou le volume injecté. Avantageux par sa simplicité et son faible coût, il est cependant limité en quantité d'informations affichables.
2. **Afficheur LCD (Liquid Crystal Display)** : L'afficheur LCD est le plus couramment utilisé dans les dispositifs médicaux modernes. Il permet d'afficher des valeurs numériques, des symboles et des messages textuels avec une faible consommation d'énergie. Il offre une bonne visibilité et une interface conviviale, ce qui facilite la lecture des données par le personnel médical.[10]



(a) afficheur 7 segment



(b) Liquid Crystal Display

3. **Afficheur OLED (Organics Light Editing Diode)** L'afficheur OLED est une technologie plus récente, offrant une meilleure qualité d'affichage et un contraste élevé. Chaque pixel émet sa propre lumière, ce qui permet un affichage clair même dans des environnements à faible luminosité. Bien que plus coûteux, ce type d'écran est apprécié pour sa résolution élevée, sa réactivité rapide et son design compact. [10]

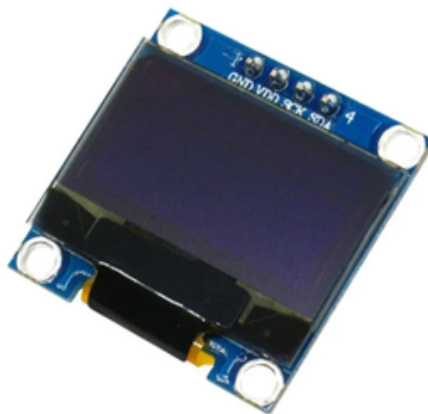


FIGURE 2.19 – Afficheur OLED

## 2.8 Conclusion

L'étude présentée dans ce chapitre a permis de comprendre en profondeur le rôle, le fonctionnement et les exigences techniques d'un pousse-seringue utilisé en milieu médical. À travers l'analyse de besoin, la définition des contraintes, l'étude du principe de fonctionnement et la présentation des solutions existantes, nous avons pu mettre en évidence les caractéristiques essentielles que doit respecter un système d'administration contrôlée de médicaments. Les résultats de cette étude montrent que la réalisation d'un pousse-seringue fiable nécessite une précision mécanique élevée, une motorisation adaptée, une ergonomie simple d'utilisation et un niveau de sécurité conforme aux normes médicales. Ces éléments serviront de base pour orienter la conception du prototype qui sera développée dans le chapitre suivant.

## Chapitre 3

### Conception et réalisation d'un pousse-seringue

# Chapitre 3

## Étude de fabrication d'un pousse-seringue

### 3.1 Introduction

Ce chapitre vise à exposer la méthodologie et les phases de conception du pousse-seringue. Suite à une revue succincte des exigences et des restrictions (exactitude, sûreté, facilité d'utilisation), nous allons détailler la structure globale du système. Les sections suivantes aborderont la conception mécanique (conversion de la rotation du moteur en mouvement linéaire), la conception électronique (circuit de pilotage du moteur et gestion des entrées/sorties) ainsi que l'élaboration du firmware (algorithme de contrôle et interface utilisateur). Les conclusions de l'étape de mise en œuvre, qui comprend le prototypage et les essais, seront exposées pour confirmer la conception.

### 3.2 Contraintes

#### 3.2.1 Contraintes techniques

Les contraintes techniques regroupent l'ensemble des limites liées à la mécanique, à l'électronique et au logiciel du pousse-seringue. Tout d'abord, **précision du débit** constitue un critère essentiel : le dispositif doit garantir un débit exact, avec une tolérance généralement fixée à 2%, afin d'éviter tout risque de sous-dosage ou de surdosage. Ensuite, **la force du moteur** doit être suffisante pour assurer le déplacement du piston, même dans le cas de solutions particulièrement visqueuses. **L'autonomie électrique** représente également une exigence importante : la batterie doit permettre un fonctionnement continu pendant plusieurs heures en cas de coupure du secteur. De plus, le pousse-seringue doit être **compatible avec différentes tailles de seringues** (10, 20, 50ml, etc.) et capable de s'y adapter automatiquement. Concernant la partie mécanique, une **fiabilité totale est attendue** : aucun blocage, glissement ou jeu excessif du chariot poussoir ne doit survenir. Enfin, le **logiciel embarqué** doit être conçu selon la norme IEC 62304, garantissant l'absence de bogues critiques susceptibles de mettre en danger le patient.

#### 3.2.2 Contraintes de sécurité

Le pousse-seringue étant un dispositif médical critique, il doit garantir la sécurité du patient en toutes circonstances. Ainsi, plusieurs **risques potentiels** doivent être anticipés

et maîtrisés. Pour prévenir le **surdosage**, des alarmes doivent être intégrées, associées à un contrôle constant du débit et à un verrouillage des paramètres sensibles. En cas **d'occlusion** dans la ligne d'injection, le système doit comporter un **capteur de pression** permettant de détecter toute obstruction. De même, la présence **d'air dans la ligne** doit être identifiée par un **capteur de bulles d'air**, afin d'éviter les embolies. Le risque de **mauvaise programmation** peut être limité par une double validation ou un verrouillage du clavier. Enfin, une **panne électrique** doit déclencher une alarme sonore et la bascule automatique sur batterie de secours.

### 3.2.3 Contraintes réglementaires

Le pousse-seringue appartient à la classe **I Ib des dispositifs médicaux**, ce qui implique le respect de plusieurs exigences réglementaires. Conformément au **Règlement (UE) 2017/745 (MDR)**, il doit obtenir le marquage CE, garantissant sa conformité aux exigences européennes. De plus, la conception et la fabrication doivent être encadrées par un système de management de la qualité conforme à la norme **ISO 13485**. La gestion des risques est également obligatoire selon la norme **ISO 14971**, afin d'assurer la maîtrise des dangers tout au long du cycle de vie du dispositif. Enfin, le respect des normes **IEC 60601-1 et IEC 60601-2** garantit la **sécurité électrique** et la compatibilité électromagnétique de l'appareil.

### 3.2.4 Contraintes d'utilisation

L'utilisation du pousse-seringue doit être **simple, intuitive et sécurisée**. **L'ergonomie** de l'interface est primordiale : la programmation doit être facile, et les informations clairement affichées. **La portabilité** constitue un autre critère important : l'appareil doit être léger et facilement fixable sur une potence ou un chariot médical. Concernant **la visibilité**, l'écran doit offrir une **lecture optimale**, de jour comme de nuit, notamment en milieu hospitalier faiblement éclairé. Enfin, **le niveau sonore** du moteur et des alarmes doit être **suffisamment audible** sans devenir gênant pour le personnel médical ou le patient.

### 3.2.5 Contraintes économiques et de maintenance

D'un point de vue économique, la conception du pousse-seringue doit rechercher un **équilibre entre performance et rentabilité**. Le **coût de fabrication** doit rester maîtrisé, tout en garantissant l'utilisation de **matériaux de qualité** assurant la **fiabilité du produit**. **La maintenance** doit être simple et rapide, notamment pour le calibrage ou le remplacement de pièces. Enfin, une **durabilité** élevée est attendue, avec une **durée de vie** moyenne supérieure à cinq ans, afin d'optimiser les coûts d'exploitation et de maintenance.

## 3.3 Partie mécanique

### 3.3.1 étude de fonctionnement

Avant de commencer à construire le pousse-seringue, une analyse mécanique détaillée du système est indispensable. Cette phase assure la fiabilité, l'exactitude et la sûreté de

l'appareil. Effectivement, l'analyse mécanique a pour objectif d'identifier les efforts, les contraintes et les déplacements que subiront les divers éléments au cours de leur fonctionnement. Elle offre aussi la possibilité de calibrer adéquatement les composants mécaniques (vis sans fin, chariot, support de seringue, moteur, etc.) pour garantir un fonctionnement harmonieux et sans pannes. Une telle évaluation représente donc un fondement essentiel pour prévenir les fautes de conception, améliorer l'efficacité du mécanisme et garantir son adhérence aux critères techniques et biomédicaux.

L'objectif principal de la conception de ce pousse-seringue est d'assurer une administration précise et régulière de fluides médicaux, notamment à très faible débit. En effet, le dispositif doit être capable d'atteindre un débit minimal de 0,1 ml/h, tout en garantissant une grande stabilité et une absence de pulsation. Pour satisfaire à ces critères, il faut élaborer un système mécanique capable de transmettre le mouvement et de contrôler la vitesse avec une précision suffisante. En outre, le pousse-seringue doit être adapté à divers types de seringues standardisées pour répondre aux multiples exigences cliniques et pour en simplifier l'emploi dans différents environnements hospitaliers. Cette nécessité de conformité et d'exactitude requiert donc une analyse mécanique minutieuse dans le but de déterminer les propriétés géométriques, les marges d'erreur et l'efficacité du mécanisme de propulsion.

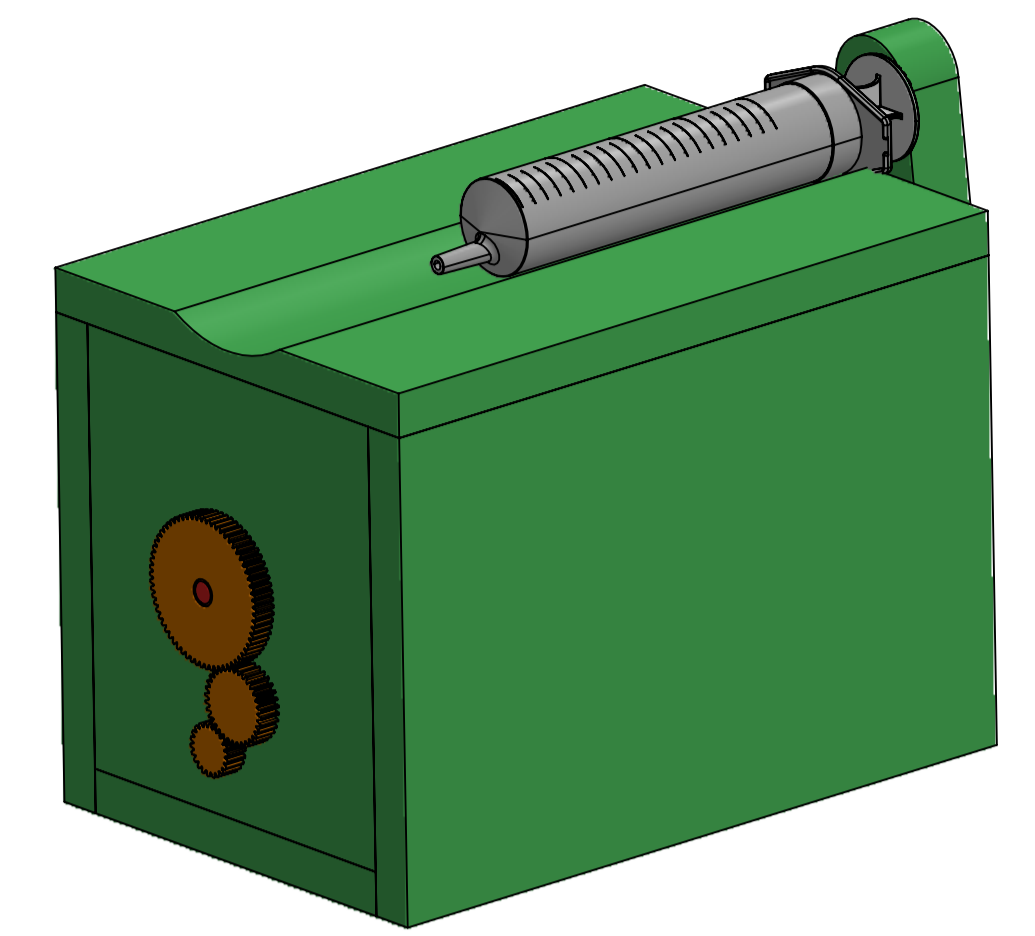
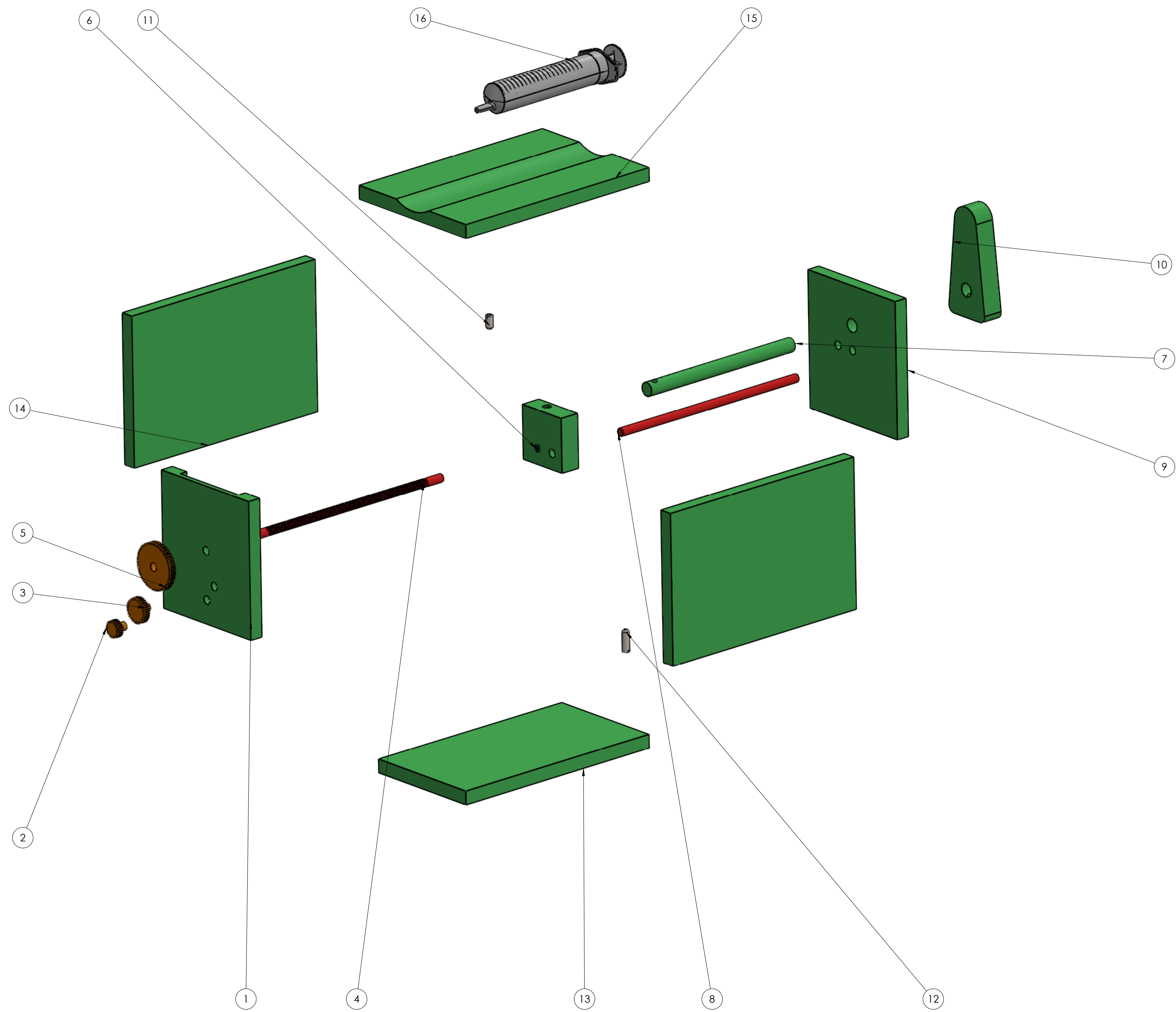
voici un tableau qui présente les types de seringues médicales normalisées qui existent sur le marché et leurs dimensionnements :

### 3.3.2 Calcul du déplacement de la seringue

**Système utilisé :**

- tige filetée diamètre 6mm.
- 1<sup>er</sup> pignon de diamètre 33mm et 66 dents(couplé a la tige filetée).
- 2<sup>eme</sup> pignon de diamètre 17mm et 34 dents.
- 3<sup>eme</sup> pignon de diamètre 11mm et 22 dents(couplé par le moteur pas a pas).
- Moteur pas à pas.
- Seringue Médicale

pour notre étude,j'ai choisi une seringue 50ml (standard).



16	SERINGUE		1
15	PORTE SERINGUE		1
14	COTÉ		2
13	BASE		1
12	ISO 7436 - M5 X 16-N		1
11	ISO 7436 - M5 X 10-N		1
10	POUSSOIRE	-	1
9	CHASSÉ 2	-	1
8	TIGE LISSE	-	1
7	AXE DE GUIDAGE	-	1
6	SYSTÈME DE GUIDAGE	-	1
5	PIGNON 3	-	1
4	TIGE FILTE	-	1
3	PIGNON 2	-	1
2	PIGNON 1	-	1
1	CHASSÉ 1	-	1

Nbr	Désignation	Matière	Quantité
Echelle : 1:1,5		<b>MICRO DOSEUSE AUTOMATIQUE DESTINÉ AU MILIEU MÉDICALE</b>	
Planche N°:		ABDERRAHMANI ABDELWAHAB	
A1		FGC - DGM - UMMTO	Promo: 2024/2025 Master II

Volume nominal (ml)	Graduation minimale (ml)	Diamètre interne (mm)	Longueur utile du cylindre (mm)	Usage typique
1 ml	0,01	4,7	57	Injections précises (tuberculine, insuline)
2 ml	0,1	8,7	42	Injections intramusculaires ou sous-cutanées
5 ml	0,2	12,1	61	Médicaments injectables courants
10 ml	0,2	14,5	73	Perfusions, dilution de médicaments
20 ml	1	19	88	Rinçages, injections volumineuses
30 ml	1	23	94	Irrigations, nutrition entérale
50 ml (standard)	2	26,6	100	Irrigation, aspiration
60 ml (Luer Lock ou Cathéter Tip)	2	29,6	108	Irrigation, prélèvement, gavage

TABLE 3.1 – Dimensions normalisées des seringues médicales (selon ISO 7886-1)

Calcule de la section de tube de la seringue :

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3.1)$$

$$S = \frac{\pi \times 26,6^2}{4} = 555,71 \text{mm}^2$$

Volume injecter leur le déplacement de la seringue par 1mm :

$$V = S \times 1 \text{mm} \quad (3.2)$$

$$V = 555,71 \times 1 = 555,71 \text{mm}^3$$

$$V = 0,555 \text{ml}$$

**Avancée linéaire requise (mm/h) pour 0,1ml/h :**

$$\begin{aligned} 1mm &\longrightarrow 0,555ml \\ ? &\longrightarrow 0,1ml. \end{aligned}$$

$$\frac{0,1 \times 1}{0,555} = 0,18mm$$

**Tour de la vis en rev/h et rad/s (pas = 1mm/rev)**

$$\begin{aligned} rev/h &= 0,18rev/h \\ rad/s &\approx 3,14 \times 10^{-4}rad/s \end{aligned}$$

**Calcul vitesse angulaire :**

$$\omega(1^{er} pignon) = \omega(moteur) \times (22/66) = \omega(moteur) \times (1/3) \quad (3.3)$$

**La vis tourne à 1/3 de la vitesse du moteur  $\longleftrightarrow$  le moteur fait 3 tours pour 1 tour de vis.**

- Donc le rapport global motor : **vis = 3 : 1.**
- Vitesse requise du moteur :  
Vis requise : 0,18rev/h  
Donc moteur : 0,183 = 0,54rev/h  
En rpm : 0,54/60 = 0,009rpm

**Pas / impulsions requises (moteur 1,8 = 200pas/tour)**

- Pas par heure (full-step) = 0,47031200 = 94,062pas/h.
- Fréquence de pas (full-step)  $\approx$  0,02613Hz.

### 3.3.3 Calcul du couple nécessaire pour le moteur :

- Diamètre intérieur de la seringue :  $D = 26,6mm$
- Surface du piston :

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \longrightarrow A = 555,72mm^2 = 5,557.10^{-4}m^2$$

- Lead (pas de vis) = 1mm = 0.001m
- Rapport engrenages moteur  $\longrightarrow$  vis = 3 : 1 (le moteur fait 3 tours pour 1 tour de vis)
- Rendement vis (hypothèse conservatrice) :  $\eta = 0,30$  ( 30%) (modifiable)

**D'après la loi fondamentale de la pression :**

$$P = \frac{F}{S} \implies F = P \times S \quad (3.4)$$

**La pression varie en fonction du type de seringue et du fluide injecté.**

Donc on prend la pression minimale et maximale ainsi :

$$P_{Max} = 1Bar = 100000Pa$$

$$P_{Min} = 0,5Bar = 50000Pa$$

$$F_{Max} = 100000Pa \times 5,557.10^{-4}m^2 = 55,57N$$

$$F_{Min} = 50000Pa \times 5,557.10^{-4}m^2 = 27,785N$$

**Calcul du Couple idéal (sans frottement) :**

$$T_{ideal} = \frac{F \times l}{2\pi} \quad (3.5)$$

$$Max : T_{ideal} = \frac{F \times l}{2\pi} = \frac{55,57 \times 10^{-3}}{2\pi} = 0,0088N.m$$

$$Min : T_{ideal} = \frac{27,785 \times 10^{-3}}{2\pi} = 0,0044N.m$$

**Couple réel d'entre :**

$$T_{rel} = \frac{T_{ideal}}{\eta} \quad (3.6)$$

$$Max : T_{rel} = \frac{0,0088}{0,3} = 0,029N.m$$

$$Min : T_{rel} = \frac{0,0044}{0,3} = 0,014N.m$$

**Calcul du couple moteur**

$$T_{Moteur} = \frac{T_{rel}}{3} \quad (3.7)$$

$$Max : T_{Moteur} = \frac{0,029}{3} = 0,0096N.m$$

$$Min : T_{Moteur} = \frac{0,014}{3} = 0,0046N.m$$

### 3.3.4 Étude de la fabrication de prototype

La méthodologie repose initialement sur l'utilisation du logiciel SOLIDWORKS, autorisant la création d'une maquette numérique, la visualisation des composants et la vérification de l'assemblage préalablement à la fabrication.

Après validation de la conception, les composants du mécanisme sont fabriqués en utilisant principalement des machines d'usinage traditionnelles, comme le tour et la fraiseuse. Ces machines rendent possible la fabrication de composants mécaniques précis et adaptés au fonctionnement du pousse-seringue, tels que les axes, les supports, les logements ou les pièces filetées.

**Structure mécanique :**

- **Châssis(support de fixation) :** le Châssis est la structure principale du pousse-seringue. C'est l'élément qui supporte,protège et maintient l'ensemble des composants mécaniques et électroniques du dispositif.

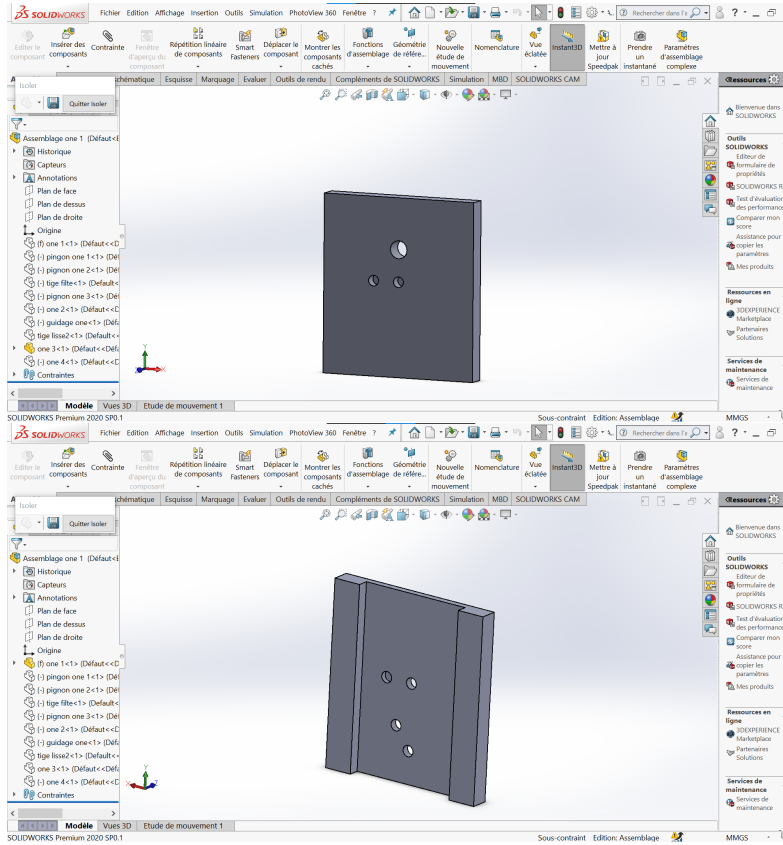


FIGURE 3.1 – conception de Châssis(support de fixation)



FIGURE 3.2 – Châssis(support de fixation)

- **Poussoir** : le poussoir est la pièce mobile qui vient appuyer directement sur le piston de la seringue pour assurer l'injection de liquide

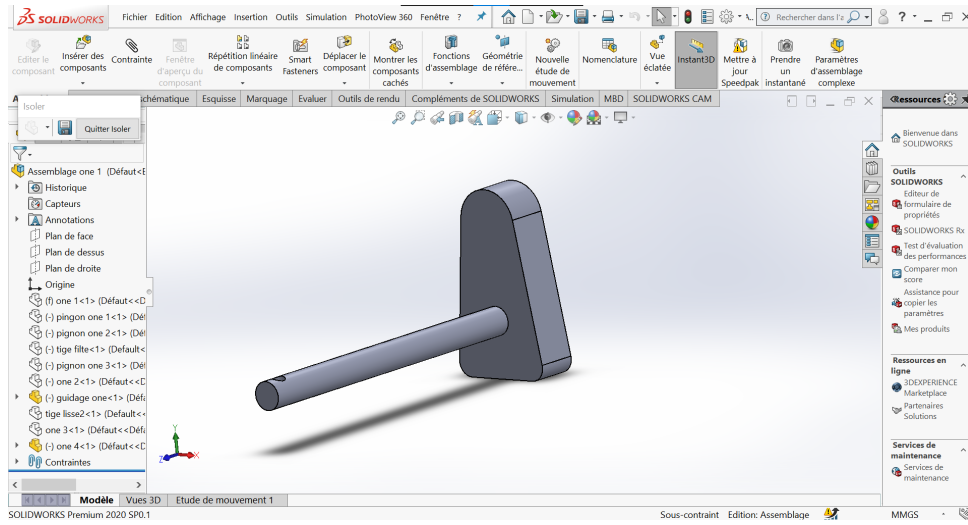


FIGURE 3.3 – Conception de poussoir

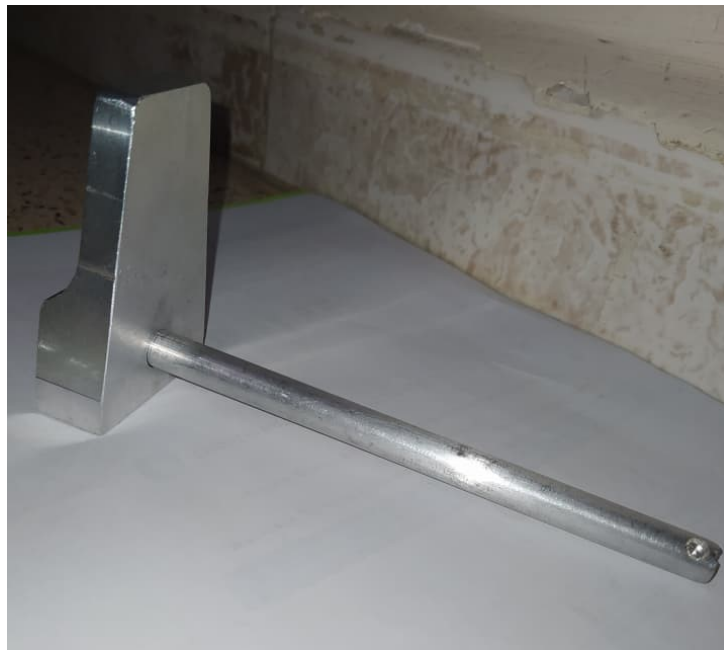


FIGURE 3.4 – poussoir

- **Guidage de poussoir** : le guidage de poussoir est le système mécanique qui permet au poussoir de se déplacer de manière stable, rectiligne et sans vibration lors de l'injection.

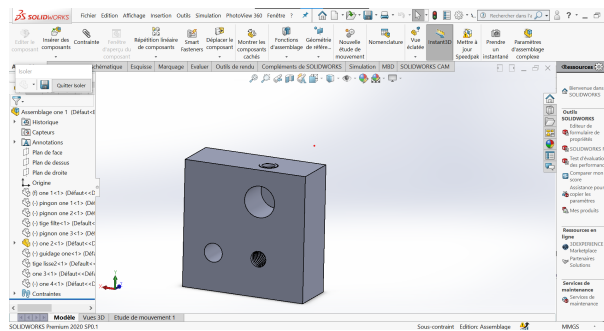


FIGURE 3.5 – Conception de guidage de poussoir



FIGURE 3.6 – Guidage de poussoir

- **Tige filetée et la Glissière** : la tige filetée convertit la rotation du moteur en déplacement linéaire du poussoir. la glissière est un composant mécanique qui garantit un mouvement rectiligne fluide et stable du poussoir.

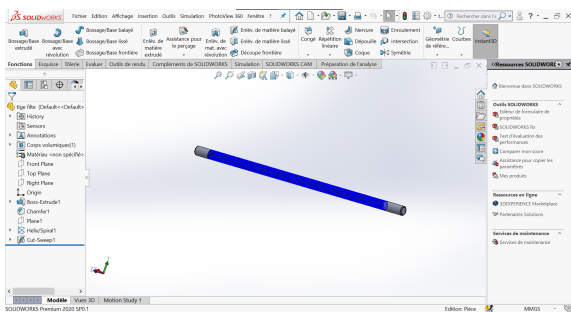


FIGURE 3.7 – Conception de la tige de guidage

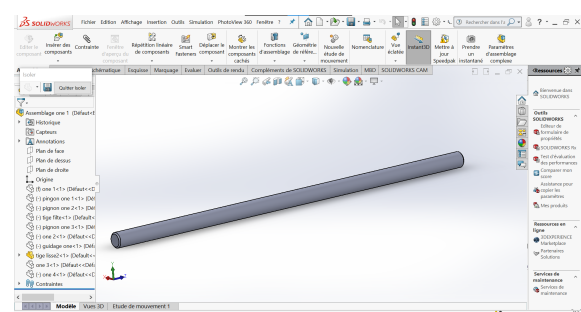


FIGURE 3.8 – Conception de la glissière



FIGURE 3.9 – tige de guidage



FIGURE 3.10 – la glissière

- **système d'engrenage** : il transforme et adapte le mouvement du moteur pour garantir un déplacement stable et précis.

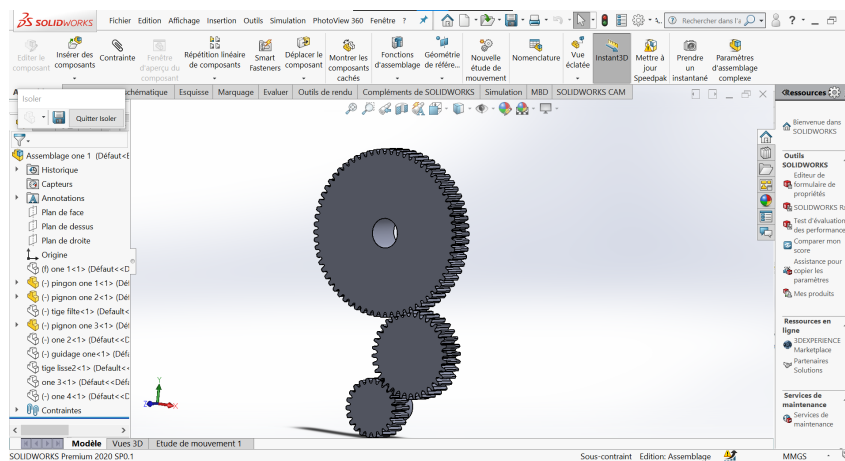


FIGURE 3.11 – Conception de système d'engrenage



FIGURE 3.12 – système d'engrenage

- **Assemblage de prototype** : après la conception et la réalisation des différentes pièces on fait l'assemblage de prototype.

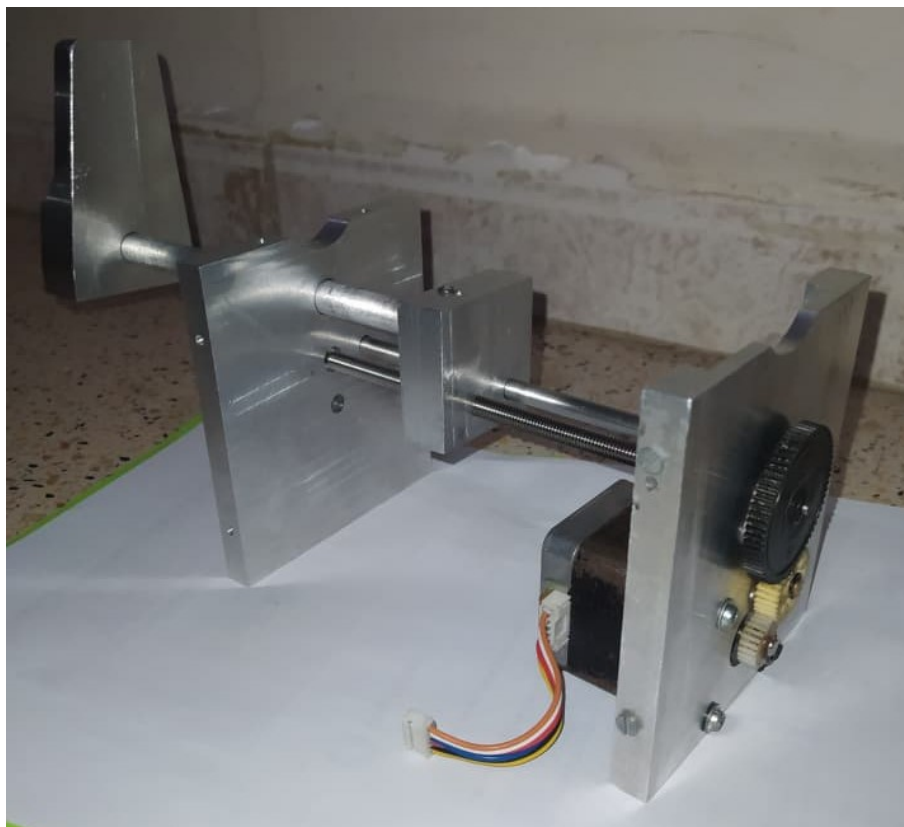


FIGURE 3.13 – Assemblage finale de la partie mécanique

**structure électrique :**

Pour assurer un bon fonctionnement du système en doit le commandé et asservir utilisant des composantes électroniques

- **Carte Arduino** : En utilise une carte programmable Arduino pour programmer les options et les fonctionnalités de tout le système

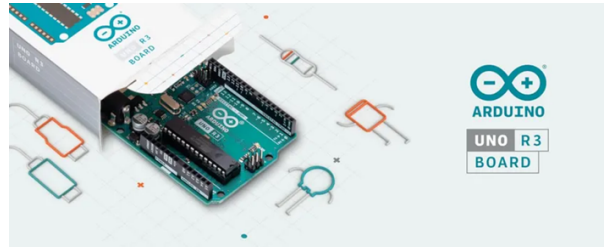


FIGURE 3.14 – Arduino UNO

- **contrôleur L298N** : En utilisent ce contrôleur pour contrôler le moteur pas a pas

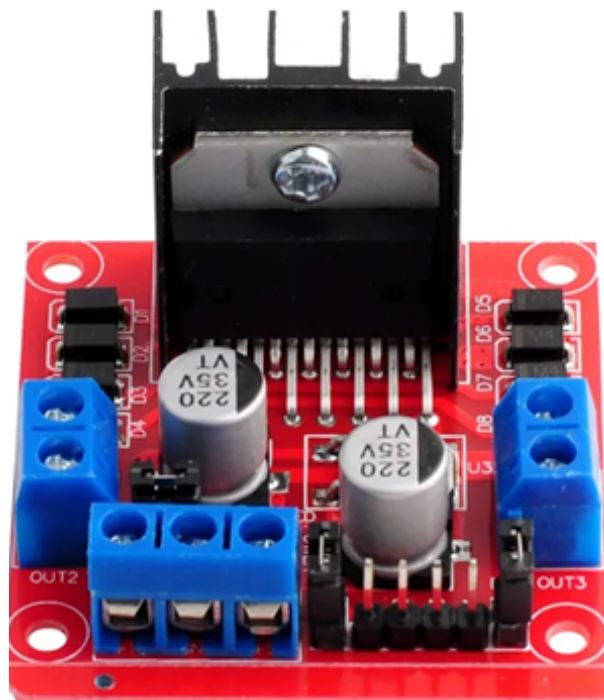


FIGURE 3.15 – contrôleur L298N

- **écran LCD** : En utilise un écran LCD 16\*4 pour assurer l'affichage des information

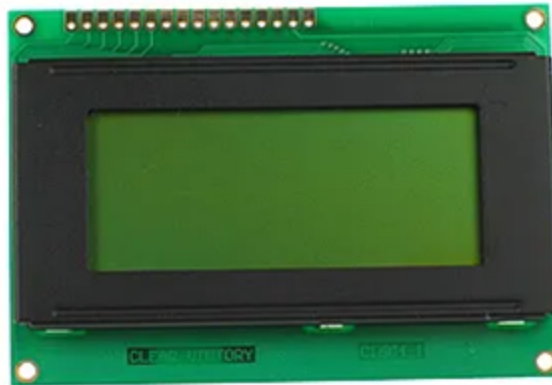


FIGURE 3.16 – écran LCD

- **schémas de branchement** Le branchement de tous les compose et simulation sur le logicielle porteuse :

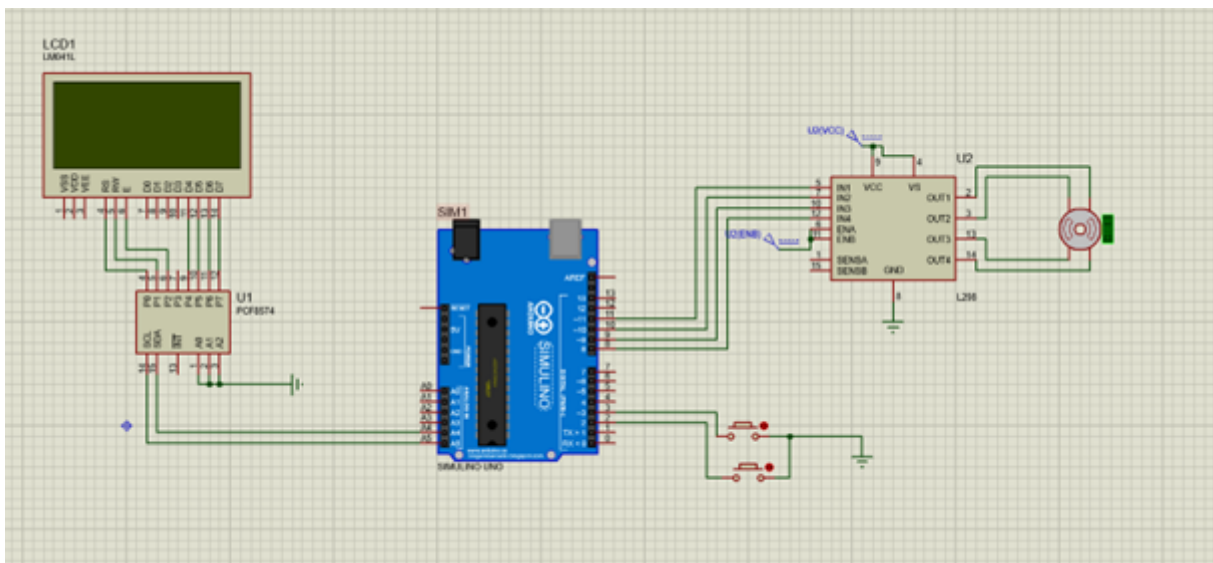


FIGURE 3.17 – schémas de branchement

voici l'assemblage final de la machine

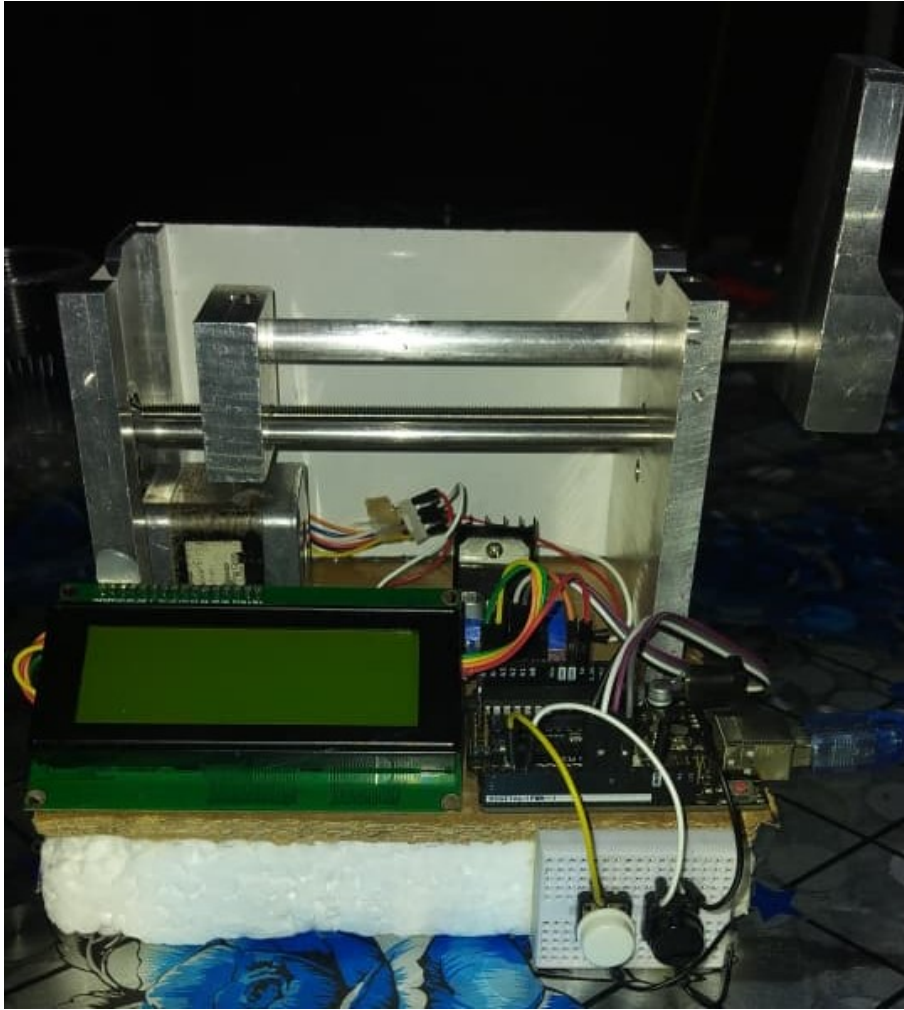


FIGURE 3.18 – assemblage final de la machine

### 3.4 Conclusion

La conception et la réalisation du pousse-seringue nous ont permis de franchir une étape décisive : passer de l'idée théorique à une solution tangible répondant à une problématique médicale réelle, à savoir l'administration contrôlée de liquides par seringue. À travers ce chapitre, nous avons présenté les différentes phases qui ont conduit à l'élaboration d'un prototype de base, intégrant les composants mécaniques et électroniques essentiels. Ce prototype constitue une première concrétisation qui valide nos choix techniques et fonctionnels, et il représente une plateforme solide à partir de laquelle nous pouvons désormais envisager la réalisation complète et opérationnelle de l'appareil, conformément aux objectifs fixés au départ.

# Chapitre 4

## Création d'une startup

# Chapitre 4

## Création d'une startup

### 4.1 Présentation de projet

#### 4.1.1 Présentation du l'équipe de projet

Porteur de projet :

**ABDERRAHMANI Abdelwahab**

Étudiant en fin de cycle, Master 2 en génie mécanique, spécialité construction mécanique, faculté génie de la construction de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

⇒ **Diplômes**

- Licence en génie mécanique (université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou)

⇒ **Expérience**

- Aide conducteur machine d'impression (AURES EMBALLAGE)
- Surveillant de baignade (Protection civile)
- Moniteur de natation (Association des malades asthmatiques Tizi-Ouzou)

⇒ **Formation supplémentaire**

- Secourisme de masse et le sauvetage aquatique
- Moniteur de natation

**Encadreur**

**Doc KEHAL Abdelkrim**

⇒ **Poste actuel** : Enseignant MCB à l'Enseignement Supérieur Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

⇒ **Formation** :

- 23 février 2023 : Doctorat ès sciences en Physique et Mécanique des Matériaux – Université de Boumerdès.
- 08 août 2008 : Magistère en Sciences et Génie des Matériaux – Université de Blida.
- 02 novembre 1993 : Diplôme d'Ingénieur en Métallurgie et Fonderie – Université d'Annaba.
- 12 avril 2003 : Attestation d'études supérieures en Technologie et Systèmes d'Information – Institut de Gestion et Planification de Bordj El Kiffan, Alger

⇒ **Expérience professionnelle**

- 02 novembre 1993 : Ingénieur chargé du moulage et du prototypage en fonderie -Entreprise de fabrication des pompes et vannes POVAL, Berrouaghia.
- 01 mai 2000 : Chef de service Études et Développement Responsable de la conception de moulages, outillages et investissements en équipements de fonderie - Entreprise POVAL, Berrouaghia.
- 01 décembre 2006 : Chef de département Études et Développement Entreprise POVAL, Berrouaghia.
- Depuis 17 février 2009 à ce jour : Enseignant-Chercheur (MCB) en génie des Matériaux à -Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

**Co-Encadreur**

**Pr OULD OUALI Mohand**

⇒ **Qualification**

- Professeur de l'Enseignement Supérieur (Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou )

⇒ **Expérience**

- 25 juin 2014. Attribué par la Commission Universitaires Nationale (CUN)
- 29 avril 2009. Habilitation Universitaire. Université Mouloud MAMMERI Tizi Ouzou
- 20 avril 2007. Doctorat de l'Université Reims Champagne-Ardenne (URCA) – France Discipline : Mécanique et Matériaux. Titre de la thèse : " Approche micromécanique de la rupture ductile dans les procédés de mise en forme des matériaux. Prise en compte de l'effet de forme des cavités." Mention très honorable.

- 18 novembre 2007 : Équivalence de Doctorat ès-Sciences, Algérie.
- Janvier 2008 : Qualification pour occuper les fonctions de Maître de Conférences dans les universités françaises. Etablie par le Conseil National des Universités (CNU) françaises.
- 2003/04. Diplôme d'Études Supérieures Spécialisées (DESS) - Université Paris XIII (France) Spécialité : Qualité, Sécurité et Environnement (Q.S.E) Intitulée du stage : "Mise en place de documents qualité au sein des ateliers de l'IFTS, dans le cadre d'une démarche de certification ISO 9001 -Version 2000." Mention assez bien.
- 2001/02. Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA). Univ. De Technologie de Troyes (UTT) France Filière : Conception Mécanique et Ingénierie Simultanée (CMIS) Titre du mémoire : Modélisation de l'effet des contraintes résiduelles sur les tôles. Application à l'emboutissage et au découpage. Soutenu le 19 septembre 2002 Classé 2ème de la promotion.
- 1999/2001. Magister en mécanique. Université Mouloud MAMMERRI de Tizi-Ouzou Mémoire non soutenu : Élaboration d'un code de calcul d'adaptation plastique par éléments finis – Application aux barres de torsion des véhicules. Classé 1er durant l'année théorique.
- 12 juil. 99. Ingénieur d'état en Génie Mécanique – Institut de Génie Mécanique (UMMTO) Option : Construction Mécanique Major de promotion.

#### 4.1.2 L'idée du projet (solution proposée)

Étant passionné par l'innovation technologique et animé par l'amélioration des équipements biomédicaux en milieu hospitalier, j'ai eu l'idée de créer un pousse-seringue moderne qui conjugue précision, sécurité et simplicité d'utilisation. Grâce au soutien de l'incubateur et du CATI de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, ce projet a commencé à se concrétiser dans le cadre de ma préparation du master 2 en construction mécanique, conformément au décret ministériel 1275 relatif à la création de prototypes novateurs. La solution suggérée se base sur l'incorporation des technologies numériques et mécatroniques récentes pour optimiser la régulation du flux, assurer la fiabilité du système et garantir la compatibilité avec diverses sortes de seringues. Le pousse-seringue prévu comprend diverses fonctionnalités clés comme un système de guidage exact, un moteur contrôlé électroniquement, une gestion astucieuse du flux, des alertes de sécurité (obstruction, fin de course), ainsi qu'une interface digitale simplifiée qui facilite la configuration

des réglages d'injection par le personnel médical. Ce système est conçu pour être un prototype évolutif, ajustable aux exigences des structures de santé locales, avec l'objectif d'élargir son déploiement à une échelle plus vaste afin de soutenir le développement de solutions médicales novatrices à l'échelle nationale.

### 4.1.3 Valeurs proposées

#### **Précision et fiabilité :**

assurer une mesure hautement précise et un fonctionnement constant, essentiels pour les soins intensifs.

#### **Protection accrue du patient :**

incorporation d'alarmes intelligentes (obstruction, fin de cycle, irrégularités) et de protections mécaniques pour prévenir toute probabilité d'erreur.

#### **Ergonomie et facilité d'utilisation :**

proposer une interface intuitive qui permet au personnel médical de configurer rapidement les paramètres d'injection.

#### **Flexibilité et compatibilité**

garantir une utilisation avec divers types de seringues et dans différents contextes hospitaliers ou ambulatoires.

#### **Innovation locale et réduction des coûts :**

il s'agit d'offrir une solution nationale efficace pour diminuer la dépendance vis-à-vis des équipements importés et réduire les dépenses du domaine de la santé.

#### **Durabilité et qualité :**

élaborer un équipement solide, pérenne et simple à maintenir.

### 4.1.4 Objectifs du projet





⇒ Concevoir un prototype de pousse-seringue qui respecte les standards internationaux (sécurité, performance, précision).

- ⇒ Acquérir une expertise dans la gestion du flux d'injection via un système mécatronique de haute performance, garantissant une distribution continue, stable et sécurisée.
- ⇒ Minimiser les erreurs humaines en automatisant les ajustements essentiels et en incorporant des alertes intelligentes.
- ⇒ Proposer une option technologique locale qui peut concurrencer les équipements importés, tout en restant plus abordable sur le plan financier.
- ⇒ Optimiser l'ergonomie, la rapidité d'ajustement et la fiabilité du système pour simplifier les tâches du personnel médical.
- ⇒ Élaborer une base technologique évolutive qui puisse permettre des améliorations futures (connectivité, collecte de données, automatisation sophistiquée).
- ⇒ Participer à l'avancement de l'industrie biomédicale nationale en mettant en valeur la recherche, l'innovation et la fabrication locale.

#### 4.1.5 Calendrier de réalisation

La réalisation du projet s'effectuera selon le calendrier suivant :

##### Année 2025

		Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre
1		X									
2			X	X							
3					X	X					
4						X	X		X	X	X

## 4.2 L'aspect innovant du projet

### 4.2.1 La nature des innovations

Notre projet ambitionne de réaliser un pousse-seringue amélioré par rapport aux dispositifs actuellement disponibles sur le marché. Contrairement aux modèles électriques existants, souvent importés à des coûts élevés et posant des difficultés de maintenance, notre solution sera conçue localement,

avec une architecture logicielle propre à nous et un design repensé pour répondre aux besoins spécifiques du secteur hospitalier algérien.

**Innovation technologique :**

Notre appareil est équipé de capteurs hautement précis qui assurent un suivi constant du débit et de la pression, garantissant ainsi une distribution des médicaments particulièrement fiable. Un microcontrôleur traite les données collectées en temps réel, modifie automatiquement le flux si besoin, et produit des notifications intelligentes lors d'une irrégularité (obstruction, fin de perfusion, erreur de paramétrage, etc.). Cette technologie ne se contente pas d'accroître la précision de l'appareil, elle permet aussi de minimiser grandement les risques d'erreurs humaines.

**Innovation dans la connectivité et la gestion des données :**

Le pousse-seringue offre une connectivité sophistiquée (Bluetooth, Wi-Fi ou protocole hospitalier), qui permet de transférer les données de perfusion vers une plateforme digitale ou vers le système d'information des hôpitaux. Cette fonctionnalité ouvre la voie à :

- Une traçabilité complète des perfusions,
- Un suivi en temps réel par les services de réanimation,
- Un archivage automatique des données pour les dossiers médicaux électroniques,

**Innovation en ergonomie et en expérience utilisateur :**

L'interface utilisateur est repensée pour offrir une expérience simple, intuitive et sécurisée. Elle inclut :

- Interface tactile intuitive et simplifiée.
- Navigation assistée et réglages automatisés.
- Compatibilité avec les seringues standards disponibles localement.
- des recommandations automatiques en fonction du médicament administré.
- Design moderne, compact et adapté aux contraintes hospitalières.

**Innovation d'usage :**

Notre projet introduit également une innovation d'usage en adaptant le pousse-seringue à différents environnements :

- hôpitaux et les cliniques publiques (CHU,EHS,EPSP....),
- cliniques privées,
- soins à domicile,
- véhicules médicalisés,
- centres de formation médicale.

Le dispositif devient polyvalent, facilement transportable et utilisable dans divers contextes, ce qui élargit considérablement le champ de ses applications.

#### **Innovation économique et organisationnelle :**

Grâce à l'automatisation, la réduction des erreurs et la connectivité, notre pousse-seringue permet aux établissements de :

- optimiser les ressources humaines,
- réduire les pertes liées aux erreurs d'infusion,
- faciliter la maintenance préventive,
- diminuer les coûts de fonctionnement.

### **4.2.2 Domaine d'innovation**

#### **Description**

Le projet met en place de nouvelles procédures pour la gestion et l'administration des perfusions médicales grâce à l'intégration de capteurs intelligents, d'algorithmes de contrôle automatique et d'un système de détection des anomalies permet une amélioration de la précision, de l'autonomie et de la sécurité du pousse-seringue. Ces optimisations contribuent à minimiser les fautes humaines, à réduire les dangers associés au surdosage ou au sous-dosage et à améliorer la gestion du patient.

#### **Nouvelles fonctionnalités**

Le pousse-seringue développé apporte des fonctionnalités inédites comparées aux dispositifs traditionnels : interface tactile ergonomique, alertes intelligentes, journalisation automatique des perfusions, connexion aux réseaux hospitaliers, etc. Ces fonctionnalités augmentent le niveau de sécurité et facilitent le travail du personnel soignant.

### **Nouveaux clients**

Le projet ouvre la voie à de nouveaux segments du marché de la santé, particulièrement pour les établissements qui cherchent précision, traçabilité et automatisation dans le contrôle des perfusions. En étendant l'application à l'hôpital, à la clinique et même aux soins à domicile, le nombre d'utilisateurs possibles connaît une augmentation considérable.

### **Nouvelles offres**

Un pousse-seringue intelligent, autonome, connecté et auto-régulé, inédit sur le marché local, offrant une alternative fiable et économique aux dispositifs importés.

### **Nouveaux modèles**

Passage à un nouveau modèle d'affaires basé sur la maintenance prédictive, la mise à jour logicielle continue et la personnalisation du dispositif en fonction des besoins des établissements de santé. Ce modèle encourage l'économie de ressources et l'amélioration continue des pratiques médicales.

## **4.3 Analyse stratégique du marché**

### **4.3.1 Segment du marché**

#### **Marché potentiel :**

Notre projet cible un marché national à forte demande, composé de :

#### **1. Hôpitaux publics et privés**

Ce sont les principaux utilisateurs, notamment dans :

- les services d'anesthésie et réanimation,
- les blocs opératoires,
- les services d'urgence,
- les soins intensifs,
- la néonatalogie et la pédiatrie,
- l'oncologie.

#### **2. Cliniques privées**

Elles ont besoin de pousse-seringues pour les interventions chirurgicales et la gestion de la douleur.

### 3. Centres de dialyse

Ils utilisent des pousse-seringues pour certaines thérapies continues.

### 4. Centres de chimiothérapie

Pour l'injection contrôlée d'agents anticancéreux.

### 5. SAMU / Services mobiles d'urgence

Utilisent des pousse-seringues portables.

### 6. Laboratoires biomédicaux et centres universitaires

Pour la recherche, les tests et l'administration d'échantillons précis.

### 7. Domotique médicale et soins à domicile

Pour les patients nécessitant perfusion continue (insuline, analgésie...).

**On peut définir les incitation des clients pour acheter cet appareil par :**

#### 1. Hôpitaux et cliniques

- Besoin de précision dans l'administration des médicaments.
- Sécurité des patients.
- Réduction des risques d'erreur humaine.
- Capacité à administrer des doses faibles, continues et régulières.
- Respect des normes internationales de perfusion.

#### 2. Services d'anesthésie – réanimation

- Administration précise d'anesthésiants, de morphiniques, de vasopresseurs.
- Fiabilité des alarmes et des sécurités.

#### 3. Néonatalogie et pédiatrie

- Capacité à injecter des micro-débits très faibles.
- Prévention des surdosages.

#### 4. Centres de chimiothérapie

- Stabilité du débit pour éviter des pics toxiques.
- Administration contrôlée des solutions cytotoxiques.

#### 5. SAMU et ambulances

- Appareils portables, robustes et autonomes en énergie.

**On peut trouver nos clients dans les localisations suivantes :**

⇒ **En Algérie**, les utilisateurs se trouvent principalement :

- Dans les grandes villes : Alger, Oran, Constantine, Annaba, Sétif, Tlemcen...

- Dans les CHU et EPH régionaux.
- Dans les nombreuses cliniques privées en expansion.
- Dans les centres spécialisés (oncologie, dialyse, chirurgies, maternités).

⇒ **À moyen terme**, le marché peut s'étendre vers :

- Le Maghreb (Tunisie, Maroc)
- L'Afrique du Nord et subsaharienne
- Le Moyen-Orient (forte demande en dispositifs médicaux)

### **Pour ce qui est de leur quantité :**

Même si les chiffres précis varient, on peut estimer :

- +200 structures hospitalières publiques
- +350 cliniques privées
- +50 centres de dialyse
- +40 centres d'oncologie
- +30 laboratoires universitaires
- +20 services mobiles d'urgence

### **Marché cible :**

Le marché cible inclut principalement les hôpitaux publics, les cliniques privées, ainsi que les services critiques tels que la réanimation, les blocs opératoires, l'anesthésie et la néonatalogie. Les centres spécialisés (oncologie, dialyse, chirurgie cardiaque, douleur chronique) constituent un second segment stratégique. Des marchés secondaires, tels que les ambulances médicalisées ou les laboratoires universitaires, complètent cette segmentation.

### **Justification stratégique**

- **Croissance de la demande nationale** liée au développement des infrastructures hospitalières et du secteur privé.
- **Équipement indispensable** dans de nombreuses procédures thérapeutiques.
- **Dépendance excessive aux importations** (appareils et pièces détachées), entraînant des coûts élevés et des délais longs.
- **Absence de production locale** : opportunité majeure pour un projet national capable de réduire les dépenses publiques et d'améliorer la souveraineté sanitaire.

### Perspective de conclusion de contrats d'achat :

Les hôpitaux publics procèdent généralement par appels d'offres annuels, avec parfois des contrats cadres renouvelables. Les cliniques privées, quant à elles, disposent de procédures d'achat plus flexibles, permettant une conclusion rapide des transactions. Les centres spécialisés, gros consommateurs de dispositifs d'infusion, représentent une cible prioritaire. Enfin, des partenariats avec des distributeurs biomédicaux ouvrent des perspectives nationales et régionales.

#### 4.3.2 Intensité de la concurrence

- **Concurrents directs** : grandes marques internationales (Terumo, B. Braun, Fresenius, Mindray, Comen).
- **Concurrents indirects** : pompes volumétriques et systèmes gravitaires.
- **Part de marché actuelle** : 70% dominée par les leaders internationaux, 20% par les marques asiatiques, 10% par des solutions alternatives.
- **Faiblesses des concurrents** : coûts élevés, dépendance aux importations, maintenance difficile en Algérie.
- **Avantage stratégique du projet** : fabrication locale, prix compétitif, maintenance disponible sur place, adaptation au contexte hospitalier national.

#### 4.3.3 Stratégie marketing

##### 1. Segmentation

- Hôpitaux publics
- Cliniques privées
- Services critiques (réanimation, anesthésie)
- Ambulances
- Laboratoires
- Centres spécialisés

##### 2. Ciblage

Priorité sur :

- Hôpitaux publics (grand volume)
- Cliniques privées (achats rapides)
- Services critiques (fort besoin en précision)

### 3. Positionnement

- Fabrication locale certifiée.
- Produit fiable, ergonomique et adapté aux normes internationales.
- Prix compétitif (30 à 50% moins cher que les importations).
- Maintenance rapide et disponible localement
- Adaptation aux seringues standards utilisées en Algérie.

### 4. Mix marketing (les 4P)

- **Produit** : pousse-seringue électrique certifié, alarmes de sécurité, batterie longue durée, interface simple, matériaux biomédicaux conformes.
- **Prix** : 30~50% inférieur aux produits importés, offres groupées, contrats avec maintenance incluse.
- **Place (Distribution)** : vente directe aux hôpitaux, partenariats avec distributeurs biomédicaux, présence dans salons médicaux, exportation régionale.
- **Promotion** : démonstrations dans les hôpitaux, échantillons de test, formation du personnel médical, relations avec anesthésistes et réanimateurs, communication digitale spécialisée.

## 4.4 Plan de production et organisation

### 4.4.1 Le Processus de production

Le processus de production d'un pousse-seringue médical se compose de plusieurs étapes essentielles, permettant d'assurer la qualité, la sécurité et la fiabilité du dispositif. Ce processus comprend l'achat des matières premières, la fabrication des composants, l'assemblage de l'appareil, le conditionnement du produit ainsi que son emballage final. Chaque étape joue un rôle crucial dans l'obtention d'un pousse-seringue conforme aux normes biomédicales et adapté aux besoins des professionnels de la santé.

#### Achat de Matières Premières

⇒ **Collecte de la Matière Première** : Choix et acquisition de pièces mécaniques (barres filetées, glissières, engrenages), de composants électroniques (moteurs pas-à-pas, capteurs, cartes de contrôle), de matières pour l'enveloppe (plastique médical, aluminium léger), ainsi que d'une multitude d'accessoires (visserie, câbles, connecteurs). Tous les matériaux doivent se conformer aux standards biomédicaux tout en assurant fiabilité et longévité.

⇒ **Fournisseurs** : Sélection et mise en place de contrats avec des fournisseurs dignes de confiance, certifiés ISO ou respectant les normes médicales, garantissant une qualité invariable des matériaux et une disponibilité durable pour la fabrication.

### Fabrication

⇒ **Assemblage des composants** : injection plastique du boîtier, assemblage des composants électroniques et mécaniques, ainsi que l'intégration du système d'entraînement (tige filetée + pignons). Chaque unité est montée conformément aux plans techniques approuvés par le département d'étude.

⇒ **Tests et calibrage** : Contrôle du fonctionnement correct du moteur, exactitude de l'administration du fluide, étalonnage des capteurs, détecteurs et vérifications de sécurité (alerte, immobilisation automatique).

⇒ **Fournisseurs/Partenaires** : Universités ou collaborateurs industriels fournissent des machines-outils, des logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO).

### Conditionnement du Produit

⇒ **Préparation des composants** : Le nettoyage, la désinfection et l'examen des pièces avant l'assemblage final assurent un produit conforme aux standards biomédicaux.

⇒ **Contrôle qualité** : Inspection fonctionnelle de chaque pousse-seringue, détection des anomalies et approbation finale avant l'emballage.

⇒ **Partenaires** : Collaborateurs logistiques pour la gestion sécurisée et l'entreposage hygiénique des pièces.

### Emballage

⇒ **Emballage** : Chaque pousse-seringue est emballée séparément dans une boîte stérile, accompagnée de la notice, des certificats de conformité et des accessoires requis.

⇒ **Étiquetage** : Apposition des détails techniques, numéro de série, date de production et consignes de sécurité.

⇒ **Fournisseurs** : Sociétés expertes en conditionnement médical et en fourniture de boîtes et matériaux stériles.

Étape	Activité	Description	Fournisseurs/ Partenaires	Durée
1	Achat MP	Sélection et achat des composants mécaniques et électroniques, matériaux du boîtier	Fournisseurs certifiés ISO, partenaires locaux	1–2 sem.
2	Fabrication	Assemblage mécanique et électronique	Laboratoires et partenaires industriels	3–4 sem.
3	Fabrication	Tests, calibrage et vérification	Laboratoires universitaires et industriels	1 sem.
4	Conditionnement	Nettoyage et désinfection des pièces	Partenaires logistiques	2–3 j
5	Conditionnement	Contrôle qualité final	Techniciens QA	2–3 j
6	Emballage	Mise en boîte + accessoires	Fournisseurs packaging médical	1–2 j
7	Emballage	Étiquetage + préparation livraison	Fournisseurs packaging médical	1–2 j

#### 4.4.2 L'Approvisionnement

##### Détermination de la politique d'achat

La politique d'acquisition doit garantir la qualité, la disponibilité et l'efficacité des coûts pour tous les composants mécaniques, électroniques, matériaux et fournitures requis pour la conception et la production de pousseringues médicaux.

- **Composants mécaniques** : Opter pour des fournisseurs experts dans la production de tiges filetées, glissières linéaires, vis, pignons, engrenages et composants métalliques précis. Assurer l'obtention de matériaux conformes aux standards biomédicaux et mécaniques.
- **Composants électroniques** : Veiller à la fourniture de moteurs pas à pas, capteurs, cartes PCB, connecteurs et systèmes de contrôle. Favoriser des fournisseurs certifiés ISO et réputés dans le domaine biomédical.
- **Matériaux du boîtier** : Opter pour des matériaux appropriés au secteur médical : plastiques spécialisés, polymères certifiés, aluminium léger résistant à la corrosion... Planifier un inventaire constant pour prévenir les manques de stock.
- **Divers matériaux et fournitures** : est nécessaire d'inclure les fournitures requises pour l'assemblage, les tests et l'emballage (câbles, adhésifs techniques, fixations, pièces injection plastique, etc.). Établir des contrats de longue durée afin d'assurer la stabilité des coûts.

- **Équipements** : Acquisition et maintenance d'équipements de tournage, de soudure électronique, d'injection plastique et des stations d'essai. Accorder la priorité aux fournisseurs qui offrent des garanties, des services de maintenance et de support technique.

#### Détermination des fournisseurs les plus importants

- **Composants mécaniques** : Travailler en partenariat avec des producteurs spécialisés dans les composants industriels de précision tels que les tiges filetées, les rails, les glissières, les engrenages, etc. Optez pour des fournisseurs réputés pour leur qualité et leur constance en matière de production.
- **Électronique et capteurs** : Collaborer avec des fournisseurs internationaux certifiés experts en moteurs pas à pas, microcontrôleurs, capteurs de pression et systèmes de contrôle biomédicaux.
- **Matériaux du boîtier** : Choisir des sociétés qui proposent des polymères techniques et des matériaux appropriés pour les équipements médicaux.
- **Équipements de fabrication** : Optez pour des fabricants d'équipements d'assemblage, de tests biomédicaux et de conception/production assistée par ordinateur de haute précision.

#### Détermination de la politique de paiement et des délais de réception

- **Politique de paiement** : Négocier des paiements flexibles (à 30, 60 ou 90 jours), ou des paiements échelonnés (30% commande + solde à la livraison). Ces arrangements facilitent la gestion de trésorerie au démarrage du projet.
- **Délais de réception** : Définir des délais de livraison clairs pour les pièces critiques.
  - Délais standards : 1 à 4 semaines selon la nature du composant.
  - Mise en place de stocks de sécurité pour éviter les arrêts de production.
  - Utilisation d'un système de suivi des commandes avec les fournisseurs

### 4.4.3 La main-d'œuvre

#### Détermination du nombre de postes créés

Le projet de conception et fabrication de pousse-seringues nécessite plusieurs postes techniques, logistiques et administratifs. Une estimation de 12 à 20 postes peut être envisagée durant les premières années.

- **Opérateurs d'assemblage (4–6 postes)** : Assemblage mécanique, soudure électronique, montage et tests fonctionnels.
- **Techniciens de maintenance (1–2 postes)** : Tests de performance, conformité, calibrage, normes biomédicales.
- **Personnel logistique (1–2 postes)** : Gestion des stocks, approvisionnement et expédition.
- **Équipe administrative et gestion (2–3 postes)** : Comptabilité, ressources humaines, gestion globale du projet.
- **Responsable marketing et commercial (1 poste)** : Promotion du dispositif, relations avec hôpitaux et cliniques.

#### Détermination de la nature de la main-d'œuvre et de leurs emplacements

- **Opérateurs d'assemblage** : Aptitudes en mécanique/électronique.  
**Emplacement** : Usine de fabrication (située près du technoparc ou de la zone industrielle).
- **Techniciens de maintenance** : Aptitudes en électromécanique et automatisation.  
**Emplacement** : Lieu de fabrication.
- **Ingénieurs en mécanique et électronique biomédicale** : Création, modélisation, essais.  
**Emplacement** : Bureau d'ingénierie situé à proximité de l'usine de production.
- **Techniciens de contrôle de qualité** : Expérience dans le domaine de l'assurance qualité et des normes médicales.  
**Emplacement** : Laboratoire d'assurance qualité sur place.
- **Personnel en logistique** : Contrôle des inventaires, envoi.  
**Emplacement** : Site de production ou entrepôt.
- **Gestion et administration** :  
**Emplacement** : Bureau administratif (à proximité du site).
- **Chargé de marketing/ventes** : Option de travail à distance partiel ou déplacement (visite des hôpitaux).

## Recours à la manutention

- **Automatisation du traitement des matériaux** : L'usage de chariots mobiles, de racks structurés, de postes d'assemblage modulaires, de systèmes de transport pour pièces de petite taille et d'équipements de test automatisés.
- **Manipulation manuelle** : Un personnel spécialisé est affecté au transport de petites pièces, à l'élaboration des kits d'assemblage ou durant les périodes de production intensive.
- **Formation des employés** : Formation indispensable sur l'utilisation des appareils et sur la sécurité biomédicale.

## Les Principaux Partenaires

### 1. Fournisseurs

- **Composants mécaniques** : Fabricants d'engrenages, glissières, tiges filetées, visseries.
- **Électroniques et capteurs** : Fournisseurs de moteurs, cartes de contrôle, capteurs de pression / force.
- **Matériaux du boîtier** : Fournisseurs de polymères médicaux et matériaux techniques.
- **Équipements** : Fabricants d'imprimantes 3D, bancs de tests, stations de soudure, logiciels CAO.

### 2. Collectivités

- Assistance publique (aides financières, exemptions fiscales, support administratif).
- Institutions gouvernementales spécialisées dans le soutien aux startups (facilitation de l'établissement et financement).

### 3. Centres de recherche

- **Universités** : Assistance pour la validation biomédicale, élaboration et tests scientifiques.
- **Laboratoires spécialisés** : Accès à des bancs d'essai et expertise biomédicale

### 4. Banques et institutions financières

- Banques commerciales pour le financement des matériels.
- Structures spécialisées pour les startups : ASF, NESDA, fonds d'innovation.

- Fonds d'investissement : financement pour la croissance future.

#### 5. Incubateurs et accélérateurs

- Incubateurs (technologie, santé, industrie) dédiés au mentorat, à la formation et à l'accompagnement du démarrage.
- Accélérateurs pour un développement rapide, financement, mise en réseau dans le domaine médical.

#### 6. Partenaires industriels et clients

- Utilisateurs finaux : hôpitaux, cliniques, centres de soins et laboratoires.
- Entreprises biomédicales : essais, feedbacks techniques et certaines collaborations de développement conjoint.
- Industries médicales : approbation des normes et certifications.

#### 7. Associations et organisations professionnelles

- Organisations médicales, chambres de commerce, associations de santé.
- Participation à des foires médicales et forums de biomédecine.

#### 8. Prestataires de services logistiques

- Sociétés de transport spécialisées (équipement biomédical).
- Services de stockage sécurisé pour des composants sensibles.
- Gestion de la chaîne d'approvisionnement et optimisation des livraisons

## 4.5 Plan financier

Le financement sollicité devra couvrir la conception et la mise au point d'une dizaine de prototypes finaux, nécessaires pour engager les procédures d'homologation auprès des différentes institutions nationales compétentes. Il s'agit de définir le budget nécessaire pour exécuter la partie prototype et passer ensuite à la phase de réalisation du produit fini durant les trois premières années, les coûts cités dans les tableaux sont tout en DA (dinar algérienne)

### 4.5.1 Les coûts et les charges

#### Investissements initiaux :

Pour déterminer les investissements liés à la phase de prototypage et de recherche, nous avons besoin de matériel d'exploration qui nous permettra d'exécuter un maximum d'idées possibles, afin d'apporter à notre produit la plus grande valeur ajoutée possible.

Catégorie	Détail	Coût unitaire	Fréquence
Prototypage et développement	Prototype primée matériaux simple	500 000	Pour le début
	Teste de persistions et d'autonomie		
	Prototype avec matériaux autorisé en médicale		
	Teste d'inter confection de machine		
Outillage de production et prototypage	Imprimante 3D résine	700 000	Pour le début
	Machine de découpe PCB		
	Poste de soudage avancé		
	Microscope		
Brevets	Dépôt national INAPI	200 000	Annuel

TABLE 4.1 – coûts investissements initiaux

**Le Tableau 1** : coûts investissements initiaux permet de visualiser les dépenses nécessaires pour financer la première phase de réalisation du projet. Il couvre partiellement l'ensemble des dépenses prévues pour la première année.

#### Coûts variables :

Pour les coûts variables, on peut les définir comme les composants et les matériaux consommables, dont les prix peuvent augmenter ou diminuer en fonction du marché d'importation.

Catégorie	Détail	Coût unitaire	Fréquence
Électrique composante	carte de commande	7900	Par unité
	Motorisation		
	Microcontrôleur		
	Résine de protection		
Matière première	résine médicale	4000	Par unité
	Matériaux ABS médicale		
Livraison locale	Transporte ver les client	2000	Par unité

TABLE 4.2 – coûts variables

**Le Tableau 2** : Coûts variables présente les besoins unitaires. Leurs coûts peuvent varier dans le temps, car le marché mondial des composants électroniques est instable. Cette instabilité est due à des facteurs politiques ainsi qu'aux relations entre les pays producteurs.

**Analyse des coûts :**

Nous pouvons estimer le prix de vente entre 80 000 et 90 000, comme illustré dans le diagramme circulaire suivant, qui présente la structure du prix

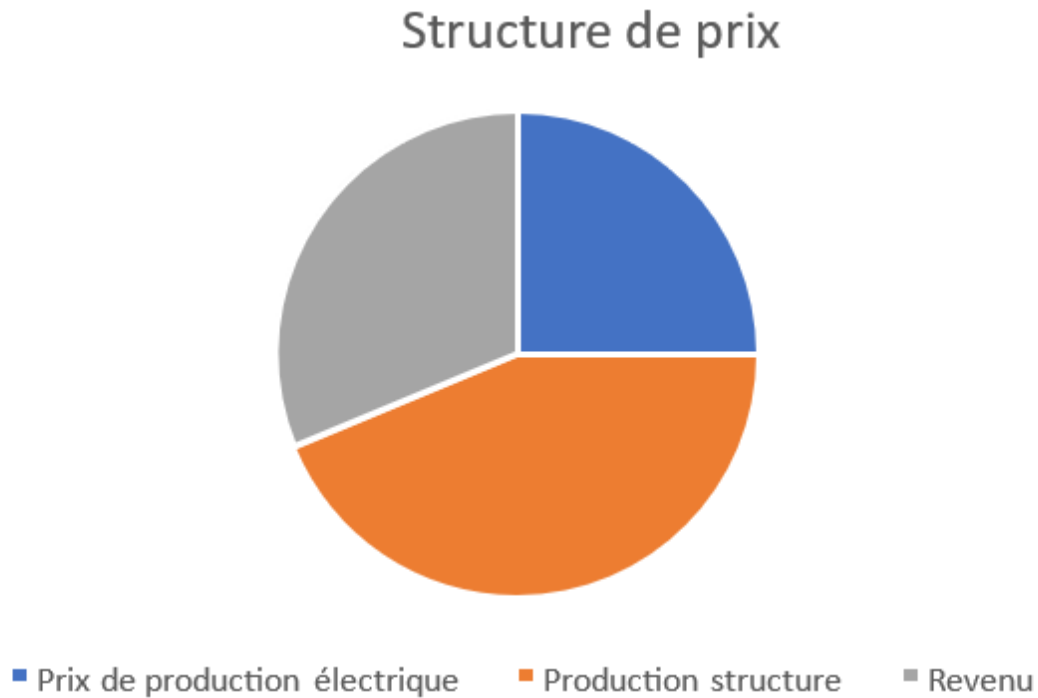


FIGURE 4.1 – Diagramme circuler de prix

**Dans la figure 1 :** Diagramme circulaire du prix, on peut distinguer les trois axes principaux qui détaillent la structure du prix du dispositif. Dans le cas de la vente, cette répartition nous offre une certaine flexibilité dans la valorisation du produit.

**Coûts fixes annuels :**

On peut distinguer les dépenses annuelles en dépenses fixes et en valeurs sûres. Durant les deux premières années, en attendant d'atteindre un niveau de revenus permettant l'achat de machines pour la production en série, nous allons nous appuyer sur la sous-traitance auprès d'entreprises externes.

Catégorie	Détail	Coût unitaire	Fréquence	Coût annuel
Personnel	2 employés polyvalents (2eme année)	100000	Mensuel	1 200 000
, Traitement du moule	Rétablirai le moule d'injection dans une période défini	20 000	Par série	240 000
Atelier d'assemblage	Petit local a (100-2000)[m <sup>2</sup> ]	50 000	Mensuel	600 000
Véhicule de service	Voiture a une ou deux cabine avec un banne de charge	50 000	Mensuel	600 000
Marketing et déléguer médicale	Recrutement d'un déléguer médicale polyvalent charger de marketing	30 000	Mensuel	360 000
Coût totale		250 000		3 000 00 0

TABLE 4.3 – Frais annuels

**Le Tableau 3** : frais annuels présente les dépenses et les fréquences d'exécution d'une série de production pour une année, avec un taux de 30 000 pièces. Cela génère un bon revenu, et le véhicule de service constitue un investissement pour l'entreprise.

#### 4.5.2 Le chiffre d'affaires

Pour bien définir le chiffre d'affaires, on fixe d'abord la valorisation de notre produit. Celle-ci peut être précisée selon les éléments suivants :

- **Prix unitaire de l'équipement** :80 000 et 90 000 DA.
- **Marge brute estimée** : environ 30%.
- **Service après-vente** : maintenance, assistance technique et vente de pièces consommables.

#### 4.5.3 Stratégie de financement :

Pour assurer un bon développement du projet, il est essentiel de prévoir un plan de financement adapté à chaque étape de réalisation. Nous proposons donc la stratégie suivante :

- **Financement de démarrage** : Lors de la phase de prototypage, le financement peut être assuré par l'université et l'incubateur, notamment

à travers des challenges tels que PROTO-MARKET, avec un budget estimé à 1 400 000 DA.

- **Financement pour l'extension (deuxième année) :** Pour cette étape, nous pouvons solliciter un financement auprès de NESDA sous forme d'un prêt de 8 000 000 DA.
- **Financement pour une production en série :** Dans le cas du lancement de la production en série, le financement peut être assuré par les avances versées par les clients dans le cadre du contrat de commande.

## 4.6 Prototype

# Business Model Canvas



## Conclusion générale

## Conclusion générale

À l'issue de cette étude, le rôle essentiel des dispositifs de perfusion, notamment du pousse-seringue, dans le domaine biomédical contemporain a été examiné en profondeur. Ces technologies, qui sont devenues essentielles dans les milieux hospitaliers, satisfont à des exigences rigoureuses en matière de précision, de sécurité et de fiabilité, lesquelles sont indispensables pour l'administration contrôlée de médicaments, en particulier dans des contextes critiques tels que l'anesthésie, la réanimation, la pédiatrie ou les traitements continus.

Le premier chapitre a été consacré à la perfusion et aux dispositifs qui la rendent possible. Nous avons mis en évidence les limites de la perfusion par gravité et expliqué pourquoi les systèmes motorisés, tels que les pompes volumétriques et les pousse-seringues, représentent aujourd'hui la solution la plus sûre et la plus précise pour administrer des traitements à débit contrôlé. Le pousse-seringue, en particulier, offre une précision chirurgicale indispensable lorsque la moindre variation de dose peut engager le pronostic vital du patient.

Dans le deuxième chapitre, l'analyse fonctionnelle du pousse-seringue nous a donné l'opportunité d'examiner son architecture, ses fonctions de service, ses contraintes ainsi que son intégration dans un cadre normatif rigoureux. Cette étude souligne la complexité du mécanisme, issu d'une combinaison harmonieuse de mécanique, d'électronique, de logiciel embarqué et de contraintes médicales. Elle souligne aussi les axes d'amélioration possibles, en particulier concernant l'ergonomie, l'indépendance énergétique et la solidité.

Dans le troisième chapitre, la conception et la réalisation d'un prototype de base de pousse-seringue ont permis de valider le passage de l'étude théorique à une concrétisation pratique. L'analyse, la modélisation, les choix techniques et l'assemblage ont conduit à un prototype fonctionnel, intégrant les éléments mécaniques et électroniques essentiels. Ce résultat confirme la pertinence des orientations retenues et constitue une base solide pour le développement complet et opérationnel de l'appareil, conformément aux objectifs fixés au départ.

Enfin, Le dernier chapitre dédié à la fondation d'une startup nous a fourni une perspective plus vaste, axée sur la valorisation et le futur du projet. L'analyse de marché, l'élaboration du modèle économique et la formulation de la stratégie commerciale ont démontré que le pousse-seringue pourrait occuper une position sur le marché biomédical, sous réserve de continuer les étapes de

développement, d'approbation clinique et d'industrialisation. Cette aventure entrepreneuriale nous a également donné une meilleure compréhension des phases essentielles pour convertir une idée technique en un produit économiquement fiable.

En conclusion, ce mémoire démontre que le pousse-seringue est bien plus qu'un simple dispositif mécanique : c'est un élément clé de la chaîne thérapeutique, garant de la sécurité du patient et du bon déroulement des soins. Avec l'évolution constante des technologies biomédicales, ces dispositifs continueront de se perfectionner afin de répondre aux besoins croissants en précision, fiabilité et automatisation dans le secteur de la santé. Ce travail peut servir de base à de futurs développements visant à concevoir des dispositifs plus intelligents, plus sûrs et plus accessibles.

# Bibliographie

- [1] *Georgin\_natan\_szymczak*. URL : [https://www.utc.fr/master-qualite/public/publications/qualite\\_et\\_biomedical/UTC/master\\_mts/2004-2005/projets/georgin\\_natan\\_szymczak/georgin\\_natan\\_szymczak.htm](https://www.utc.fr/master-qualite/public/publications/qualite_et_biomedical/UTC/master_mts/2004-2005/projets/georgin_natan_szymczak/georgin_natan_szymczak.htm) (visité le 28/08/2025).
- [2] Mouhous MOHAND et Seddoud YACINE. “Conception et realisation d’un pousse seringue programmable a base d’Arduino”. Thèse de doct. Université Mouloud Mammeri, 2016.
- [3] *Fresenius Kabi France*. URL : <https://www.fresenius-kabi.com/fr>.
- [4] Belaib YOUSRA. “Étude d’une pousse seringue électrique”. Thèse de doct. Faculté des Sciences et Technologies, 2021.
- [5] Bastien MEIER. “Pousse seringue”. In : (2011).
- [6] PSH. *Analyse Fonctionnelle*. URL : <https://ppe2010.kazeo.com/analyse-fonctionnelle-a122119354>.
- [7] Damien LANNOY. “Optimisation de la qualité et de l’efficacité des dispositifs médicaux de perfusion simple et complexe”. Thèse de doct. Université du Droit et de la Santé-Lille II, 2010.
- [8] James LI. *Sélection des matériaux métalliques pour les dispositifs médicaux*. Premier moule. 27 mai 2025. URL : <https://firstmold.com/fr/tips/metal-selection-for-medical/> (visité le 16/11/2025).
- [9] *Disositifs Medicaux Facmed.Univ-Constantine3 - Recherche Google*. (Visité le 16/11/2025).
- [10] Medjmali NABIL. “Etude et simulation d’un pousse seringue électrique”. Thèse de doct. Université Mouloud Mammeri, 2017.
- [11] Lemoussi SOMIA. “Etude Du Comportement Des Engrenages”. Mém. de mast. Université Saad Dahleb - Blida, 2016.