Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Fès
Faculté de Sciences et techniques de Fès-Saïs
Département de génie mécanique

# RAPPORT DE PROJET DE FIN D'ETUDES

***Pour l'Obtention du***

## Diplôme de Master Sciences et Techniques

## Spécialité : Génie Mécanique et Productique

***Thème :***

***Développement d'un outil dédié au contrôle et mesure de la distance entre les gorges du trou d'axe des pistons***

***Présenté par :***

***AKAABOUNE MOHAMMED-AMINE***

***ABDELBASET AIT BEN AHMED***

***Encadré par :***

**-Pr. ABDELOUAHHAB JABRI, Professeur département Génie Mécanique, FST Fès**

**-Mr. ABDELFETTAH GAOU, Encadrant de la société FLOQUET MONOPOLE**

***Effectué à : FLOQUET MONOPOLE Industrie de Précision***

***Soutenu le : 15 /06/2017***

**Devant le jury :**

| | |
|---|---|
| • **Pr. A. JABRI** | **Faculté des Sciences et Techniques de Fès** |
| • **Pr. A. EL HAKIMI** | **Faculté des Sciences et Techniques de Fès** |
| • **Pr. A. El BIYAALI** | **Faculté des Sciences et Techniques de Fès** |
| • **Pr. B. HARRAS** | **Faculté des Sciences et Techniques de Fès** |

**Année Universitaire : 2016-2017**

# REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin au bon déroulement de notre stage.

Nos remerciements vont particulièrement à Mr. **ABDERRAHMAN LARAQUI** Directeur Général de **SOCIETE MAROCAINE DES FONDRIES DU NORD (FLOQUET MONOPOLE Industrie de précision)** qui nous a admis à effectuer ce stage, et surtout un chaleureux remerciement à Mr. **GUAOU ABDELFETTAH** et tous les employés de l'entreprise qui, en mettant à notre disposition certains documents, leurs temps et leur savoir-faire ont contribué à notre formation et à la réalisation de ce rapport.

Nous tenons également à remercier Mr. **ABDELOUAHHAB JABRI** notre enseignant de la Faculté des Sciences et Techniques qui n'a ménagé aucun effort pour nous encadrer durant la période de notre stage.

Enfin, nous présentons nos remerciements à tous les professeurs du département du **Génie Mécanique** de la Faculté des Sciences et Techniques et toutes les personnes qui ont participé d'une manière ou d'une autre, à l'accomplissement de ce travail.

**MERCI**

# Dédicaces

*Nous dédions ce travail,*

*A nos pères affectueux, à nos très chères mères.*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer nos sentiments,*

*Que dieu le tout-puissant vous préserve et vous procure santé et longue vie.*

*A nos professeurs pour leurs énormes efforts.*

*A nos sœurs, nos frères et nos camarades de la FST Fès, pour l'amour et le respect le courage qu'ils nous ont toujours octroyés.*

*Au personnel du FLOQUET MONOPOLE.*

*A nos petites et grandes familles.*

*A tous nos amis.*

# Table des matières :

**Introduction** ..... 10

**Chapitre I : Présentations de l'entreprise d'accueil** ..... 12

I. Généralités sur l'entreprise Floquet Monopole : ..... 13

1) Fiche de présentation: ..... 13

2) Organigramme : ..... 14

II. Organisation technique de FMI : ..... 15

1) Bureau de méthode: ..... 15

2) Bureau d'étude et de développement: ..... 15

3) Section fonderie: ..... 15

4) Service maintenance: ..... 15

5) Service qualité: ..... 16

6) Service métrologie: ..... 16

7) Service production: ..... 16

8) Service ressources humaines: ..... 16

9) Atelier mécanique: ..... 16

10) Service de conditionnement et stockage: ..... 16

III. Présentation des produits de l'entreprise (pistons) : ..... 17

1) Définition : ..... 17

1) Rôle de piston dans un moteur : ..... 17

2) Les principaux éléments du piston : ..... 17

4) Les différentes étapes la fabrication : ..... 20

5) Les chaines de production au sein de Floquet Monopole: ..... 24

**Chapitre II : Processus de développement de produit et Présentation de la problématique** ..... 27

I. Les approches de développement de produit : ..... 28

1. L'ingénierie séquentielle : ..... 28

2. L'ingénierie simultanée : ..... 28

II. Processus de Design d'un produit ..... 29

1) Les caractéristiques d'un PDP ..... 29

2) Les types des PDP : ..... 30

III. Présentation de la problématique : ..... 32

1) L'AXE du piston : ..... 32

2) Montage de l'axe du piston : ..... 34

c) Description de l'état actuel : 36
d) L'objectif visé : 39
**Chapitre III : Définition du Projet et Caractérisation des Fonctions** 41
I. Définition du projet : 42
1) La méthode des 3Q+OPC (5W&H en notation anglaise) : 42
2) Diagramme bête à cornes : 43
II. ANALYSE FONCTIONNELLE : 44
1) Introduction : 44
2) Rechercher les fonctions : 44
3) La méthode utilisée : RESEAU 45
4) Caractérisation des fonctions : 56
5) Cahier des charges fonctionnel (CdCF) : 59
**Chapitre IV : Génération & choix des concepts.** 62
I. Génération des concepts : 63
1) La matrice morphologique : 63
2) Application de la méthode : Matrice Morphologique : 63
3) Concepts générés : 68
II. Choix de concepts : 75
1) Méthode de Pugh : 75
2) Application de la méthode : 76
3) Présentation de la solution adoptée : 78
Conclusion : 81
**Conclusion Générale et perspectives** 82
**BIBLIOGRAPHIE** 84
**Annexe 1 : Dimensionnement des composants** 85
**Annexe 2 : Le comparateur choisi** 89
**Annexe 3 : Dimensionnement du piston de diamètre 58mm** 91
**Annexe 4 : Les étapes de construction de la matrice de PUGH** 92

# Liste des figures :

Figure 1: La démarche adoptée dans ce rapport ..... 11
Figure 2: Floquet Monopole ..... 13
Figure 3: Organigramme du Floquet Monopole Industrie ..... 14
Figure 4: Les éléments d'un piston ..... 19
Figure 5: Implantation des machines à FM ..... 26
Figure 6: Approche de Lawson ..... 30
Figure 7: Axes des pistons ..... 32
Figure 8: Axe lisse ..... 33
Figure 9: Axe biconique ..... 33
Figure 10: Axe biconique (coupe) ..... 33
Figure 11: Pied de la bielle pour axe à empreinte ..... 33
Figure 12: Axe à empreinte ..... 33
Figure 13: A gauche: axe libre à droite: axe serré dans la bielle ..... 34
Figure 14: Circlips de fixation de l'axe ..... 34
Figure 15: Carte présentant les pays d'import des circlips et les axes ..... 35
Figure 16: Présentation de la distance à contrôler ..... 36
Figure 17: L'outil actuellement utilisé ..... 37
Figure 18: Mode d'utilisation de l'outil ..... 37
Figure 19: illustration du montage P.A.C - piston ..... 37
Figure 20: positionnement du pied à coulisse au niveau des gorges du trou d'axe ..... 37
Figure 21: diagramme Ishikawa ..... 38
Figure 22: Cadre générale ..... 39
Figure 23: Schéma IDEF0 pour le chapitre ..... 40
Figure 24: illustration de la méthode bête à corne ..... 43
Figure 25: Examen d'environnement ..... 47
Figure 26: Erreur de mesure ..... 50
Figure 27: Chaine de mesure ..... 51
Figure 28: Pied à coulisse à vernier ..... 52
Figure 29: Description d'un pied à coulisse ..... 52
Figure 30: Comparateur mécanique ..... 53
Figure 31: Description d'un comparateur ..... 53
Figure 32: micromètre ..... 54
Figure 33: description d'un micromètre ..... 54
Figure 34: micromètre à broche rotative ..... 55
Figure 35: micromètre à broche non rotative ..... 55
Figure 36: Schéma IDEF0 de l'avancement du projet ..... 61
Figure 37: Came plate ..... 67
Figure 38: Came tambour ..... 67
Figure 39: Came rectiligne ..... 67
Figure 40: Illustration du mécanisme d'un levier ..... 68
Figure 41: Concept basé sur calibre à limite ..... 69
Figure 42: Concept basé sur came rectiligne (coupe) ..... 70
Figure 43: Concept basé sur came rectiligne 1 ..... 70

Figure 44: Concept basé sur came rectiligne 2 (coupe) ..... 71
Figure 45: Concept basé sur came rectiligne 2 ..... 71
Figure 46: Montage des extensions ..... 72
Figure 47: Concept basé sur une règle ..... 73
Figure 48: Concept basé sur un levier inter-appuie ..... 74
Figure 49: Solution actuelle ..... 76
Figure 50: présentation de la solution proposée ..... 78
Figure 51: dessin d'assemblage de la solution proposée ..... 78
Figure 52: Schéma IDEF0 du chapitre ..... 81
Figure 53:Schéma IDEF0 du projet ..... 83

# Liste des tableaux :

Tableau 1: Fiche de présentation du Floquet Monopole ..... 13
Tableau 2: Les types d'alliages pour la fabrication des pistons ..... 21
Tableau 3 : Les opérations de la chaines TU ..... 25
Tableau 4: Cadre générale du projet ..... 39
Tableau 5: 3Q+OCP ..... 42
Tableau 6: Fonctions obtenues par recherche intuitif ..... 46
Tableau 7: Fonctions obtenues par examen d'environnement ..... 47
Tableau 8: Fonctions obtenues par méthode SAFE ..... 48
Tableau 9: Fonctions obtenues par examen des efforts et des mouvements ..... 49
Tableau 10: Fonctions obtenues par analyse d'un produit de référence ..... 55
Tableau 11: Caractérisation des fonctions ..... 58
Tableau 12: Caractérisation des fonctions (modifiée) ..... 59
Tableau 13: Cahier des charges fonctionnel ..... 60
Tableau 14: Matrice morphologique ..... 65
Tableau 15: Description des éléments de la matrice morphologique ..... 66
Tableau 16: Les sous-concepts adoptés pour concept 1 ..... 70
Tableau 17: Les sous-concepts adoptés pour concept 2 ..... 71
Tableau 18: Catégorisation des pistons pour concept 3 ..... 71
Tableau 19: Les sous-concepts adoptés pour concept 3 ..... 72
Tableau 20: Les sous-concepts adoptés pour concept 4 ..... 73
Tableau 21:Catégorisation des pistons pour concept 5 ..... 74
Tableau 22: Les sous-concepts adoptés pour concept 5 ..... 75
Tableau 23: Critères de comparaisons ..... 76
Tableau 24: Matrice de Pugh ..... 77
Tableau 25 : Les composants du concept choisi ..... 80

# Glossaire

**AF** : Analyse fonctionnelle

**CDCF** : Cahier des charges fonctionnel.

**Cycle de vie du produit** : D'après la norme ISO 15226:99, il est défini comme étant les étapes d'évolution entre l'élaboration du concept même du produit et sa mise au rebut.

**FMI** : Floquet Monopole Industrie.

**IDEF** : Integrated DEFinition

**Matrice morphologique** : Méthode qui vise à explorer de manière systématique toutes les combinaisons issues de la décomposition d'un système dont l'objectif est la mise en évidence de fonctions ou solutions nouvelles pour développer de nouveaux produits et/ou services.

**Matrice de Pugh** : Un outil de prise de décision. Elle permet de choisir de manière optimale entre diverses solutions possibles en appliquant plusieurs critères simultanément.

**PDP** : Processus de design de produit.

**Pièce** : Composant élémentaire du produit.

**Produit** : Ensemble de composants reliés entre eux et travaillant ensemble pour fournir les fonctions attendues par le client.

**RESEAU** : Recherche Intuitif, Examen d'environnement, SAFE, Examen des efforts, Analyse d'un produit de référence, Utilisation des normes.

**SAFE**: Sequential Analysis of Functional Elements.

**SMFN** : Société marocaine des fonderies du nord.

# Introduction

L'industrie automobile marocaine a enregistré une croissance remarquable au cours des dix dernières années. Une progression fulgurante qui n'est pas près de s'arrêter, puisque le Maroc est en train de se hisser parmi les plus grands constructeurs d'automobiles du monde. Les regards des investisseurs se tournent vers le royaume, plateforme idéalement située pour inonder les marchés africains et européens.
Dans ce cadre, la société marocaine des fonderies du nord nous a proposé un sujet qui nous a permis d'entrevoir en quoi consiste le développement du produit. Le sujet proposé s'agit de développer un outil qui permet la prise de mesures pour les gorges du trou d'axe des pistons. Pour cette raison, notre rapport traite les axes suivants :

Après avoir présenté l'historique et les informations techniques de l'entreprise d'accueil (FLOQUET MONOPOLE Industrie), nous avons décrit l'organisation de l'entreprise en présentant les différents services au sein de la société. Finalement, nous avons terminé le chapitre par une présentation des produits de l'entreprise et leurs procédés de fabrication, ainsi que les chaines de productions au sein de Floquet Monopole.

Le deuxième chapitre consiste, en première partie, sur une présentation de différentes approches du développement de produit, ainsi que les processus de design de produit (PDP), ce qui nous a permis de d'adopter un processus que l'on va traiter pendant notre étude. La deuxième partie s'agit de présentation de la problématique qui est le manque d'outil de mesure spécifié pour les gorges du trou d'axe des pistons, dont le but était de décrire l'état actuel (l'instrument de mesure utilisé pour réaliser les mesures) pour aboutir à établir les objectifs de notre étude.

Pour le troisième chapitre et après avoir présenté la problématique, nous avons abordé notre étude en définissant les différents aspects du projet par l'emploie des méthodes comme 3Q+OCP et diagramme bête à cornes pour nous permettre à passer à l'étape suivante qui est l'analyse fonctionnelle. Pendant l'analyse fonctionnelle, nous avons pu employer la méthode de RESEAU qui nous a permis de dégager les fonctions que notre produit doit avoir. Puis les fonctions déjà établies ont été caractérisé selon leurs types pour établir le cahier des charges fonctionnel.

Le quatrième et le dernier chapitre consiste à générer, d'après le cahier des charges fonctionnel, des concepts en se basant sur la méthode de la matrice morphologique qui permet de générer des concepts pour les fonctions établies pendant le chapitre précèdent. Ensuite, pour choisir le meilleur concept, nous avons utilisé la méthode de Pugh qui nous a permis, après une série de comparaison entre les concepts générés et le concept de référence qui est l'outil utilisé actuellement, de trouver le concept le plus convenable et qui respecte le cahier des charges fonctionnel.

On peut résumer l'étude que nous avons abordée dans ce rapport sous forme d'un schéma, ce schéma est présenté ci-dessous :

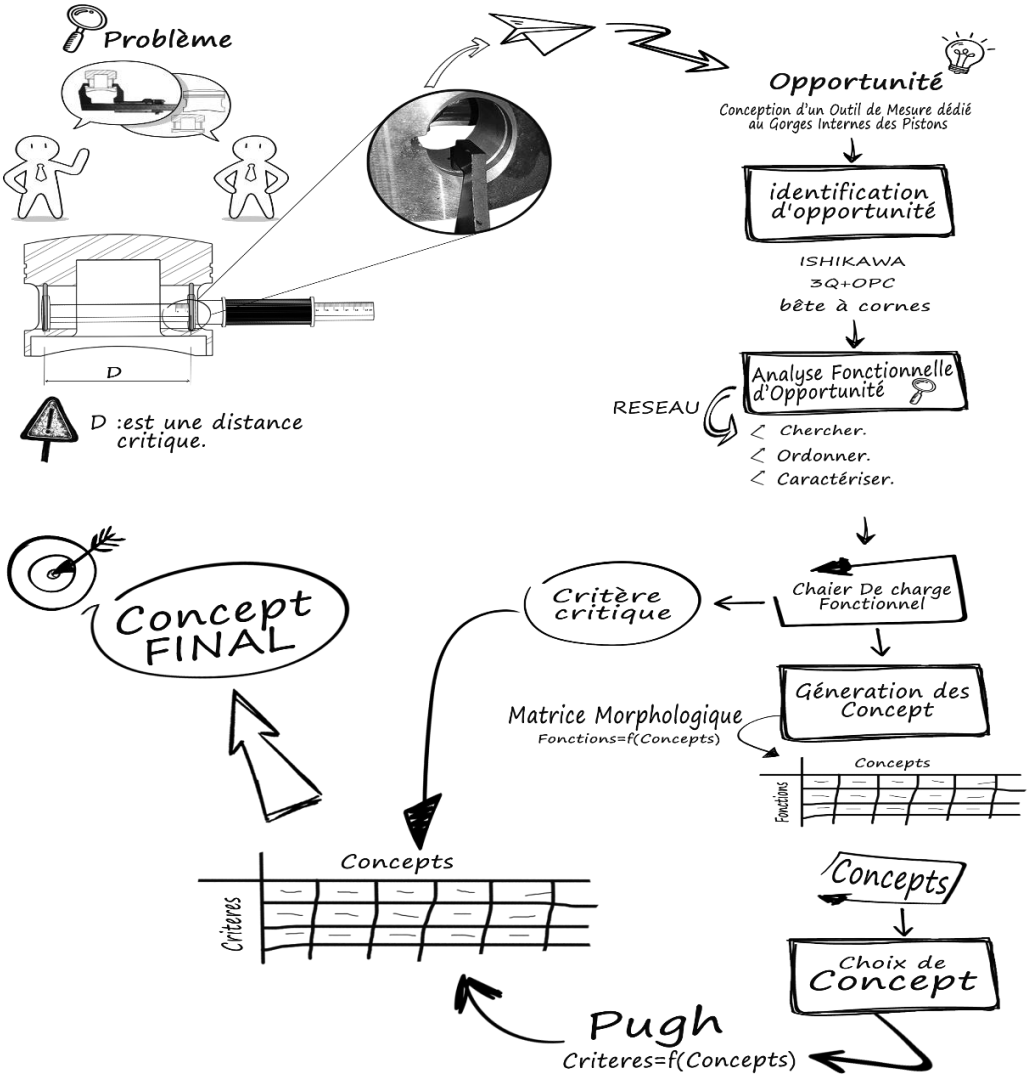



*Figure 1: La démarche adoptée dans ce rapport*

# Chapitre I : Présentations de l'entreprise d'accueil

Dans ce chapitre nous présentons la Société Marocaine De Fonderie du Nord(SMFN) Floquet Monopole qui a comme activité principale la production de pistons, de chemises et d'axes pour automobiles. Nous allons parler de l'historique, la structure, les facteurs de production les postes de l'atelier de fabrication de pistons et les processus de la fabrication employés par la société.

## I. Généralités sur l'entreprise Floquet Monopole :

*Figure 2: Floquet Monopole*

Equipementier Automobile Marocain premier rang, concepteur, développeur et fabriquant de pistons et chemises pour moteur à Essence et Diesel, Floquet Monopole a été créée en 1981 dans le quartier industriel Sidi Brahim, Rue 813 Fès-Maroc avec un capital de 21,8 millions de DH. Les sites de production localisés à Fès couvrent une superficie de 10,600 m², dont 6.500 m² couverts.

Floquet monopole est unique dans son genre d'activité au Maroc, Maghreb, Afrique et Moyen Orient. Elle a une production qui varie en fonction des années, en effet leur production a atteint une valeur de plus de 600 000 pistons au cours de ces derniers décennies.

Floquet Monopole est l'une des premières entreprises de la région à avoir décroché une certification ISO 9001. La certification, obtenue en 1997, a été reconduite, une deuxième fois, le 6 juin 2000, pour une période de trois ans.

### 1) Fiche de présentation:

| | |
|---|---|
| Raison Sociale | Société Marocaine des Fonderies du Nord (SMFN) ; Floquet Monopole Industrie de précision (FMI) |
| Forme | Société anonyme |
| Date de création | 1981 |
| Siège | Quartier Industriel Sidi Ibrahim, Lot 59, Rue 813 Fès-Maroc. |
| Activités | Fabrication par moulage des pistons en alliages d'aluminium.<br>Fabrication des éléments de frein à disques (RENAULT). |
| Production (antérieur) | Plus de 600 000 pistons par an. |
| Capitale | 20 800 000 DHS |
| Chiffre d'affaire | 80 000 000 DHS |
| Email | fm@floquetmonopole.co.ma<br>sales@floquetmonopole.co.ma |
| Téléphone | 05 35 64 26 91<br>05 35 64 28 69<br>05 35 64 26 42 |

*Tableau 1: Fiche de présentation du Floquet Monopole*

2) Organigramme :

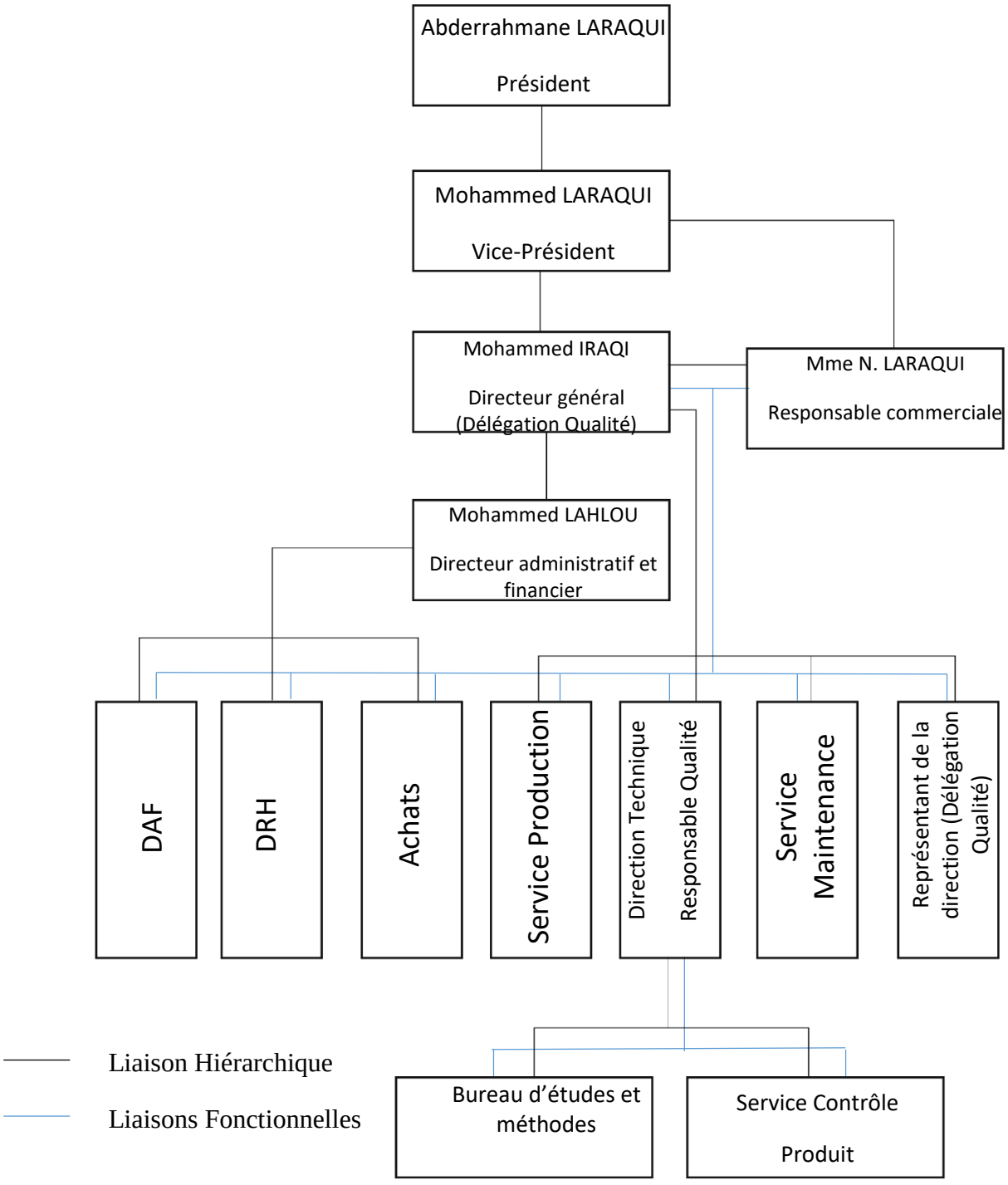



*Figure 3: Organigramme du Floquet Monopole Industrie*

## II. Organisation technique de FMI :

Elle est constituée de plusieurs services qui assurent le bon déroulement des procédés de fabrication et de contrôle. Parmi ces services on trouve :

### 1) Bureau de méthode:

Il consiste à étudier et à préparer la fabrication, donc à prévoir, préparer, lancer puis superviser le processus d'usinage permettant de réaliser des pièces conformes au cahier des programmes de production donné, dans un contexte technique, humain et financier déterminé.

### 2) Bureau d'étude et de développement:

Il sert à étudier un mécanisme, à concevoir le fonctionnement, choisir les matériaux constitutifs, préciser les formes, les dimensions et l'agencement en vue de la fabrication.
Cette étude se concrétise par l'exécution des dessins accompagnés de spécifications précises ne laissant place à aucune ambigüité.

### 3) Section fonderie:

Elle est responsable de la production fonderie tant au niveau de la qualité, que la quantité et elle est chargé de faire respecter les procédures et les règles de sécurité dans le travail.

### 4) Service maintenance:

C'est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou d'assurer un service déterminé.
Il comporte une maintenance préventive qui est effectuée selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire les problèmes techniques éventuels, et une maintenance corrective qui est effectuée après défaillance, ainsi qu'une maintenance systématique qui a pour fonction de remédier sur-le-champ

5) Service qualité:

C'est un service qui assure le bon fonctionnement grâce à ses caractéristiques qui lui donnent l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés et implicites.

Ces besoins peuvent évoluer avec le temps, ceci implique la révision périodique des exigences pour la qualité.

6) Service métrologie:

Ce service a pour rôle de contrôler, l'action de mesurer, d'examiner, d'essayer, de passer au calibre une ou plusieurs caractéristiques d'un produit ou d'un service et de les comparer aux exigences spécifiées en vue d'établir leur conformité.

A chaque stade de fabrication des contrôles rigoureux de qualité et de conformité sont effectués sur chaque pièce. Ces contrôles sont réalisés à l'aide des moyens et des matériels de contrôle très sophistiqués et performants.

7) Service production:

C'est un service qui s'occupe du positionnement réel dans le temps, des dates de début et de la fin des opérations afin de tenir les détails de fabrication. Ces états sont utilisés lors du lancement.

8) Service ressources humaines:

Il occupe une grande importance au sein de la société SMFN. Il est chargé de toutes les fonctions administratives et professionnelles de l'ensemble du personnel de l'usine.

9) Atelier mécanique:

Il est chargé de réaliser les outillages fonderie/usinage unitaires en référant aux dessins de définition fournis par le bureau d'étude, et les pièces de rechange demandées par le service maintenance en se basant sur les plans établis par le service méthode.

10) Service de conditionnement et stockage:

Ce service s'occupe des travaux de conditionnement, d'emballage et de stockage final avant l'expédition chez le client. L'exportation représente une part très importante de l'activité du centre de distribution. Les commandes en provenance de plus de 50 pays sont traitées à l'aide d'un système informatisé qui permet de satisfaire l'ensemble des commandes dans les meilleurs délais.

## III. Présentation des produits de l'entreprise (pistons) :

### 1) Définition :

Pièce cylindrique mobile, qui sert à comprimer le gaz en vue d'une explosion, et qui après l'explosion transforme une énergie thermique en énergie mécanique.

Outre ces deux rôles primordiaux, le piston a d'autres rôles tout aussi importants pour le bon fonctionnement du moteur :

-Aspirer le mélange du gaz dans la chambre de combustion lors de sa descente.

-Expulser le gaz brulé lors de sa remontée.

-Evacuer la chaleur créée par les explosions répétées.

-Assurer l'étanchéité entre la chambre de combustion et le carter du vilebrequin rempli d'huile.

-Résister à la très forte chaleur et aux contraintes mécaniques.

-Il doit être le plus léger possible pour diminuer les masses en mouvement. (Plus le piston est léger, plus l'explosion servira à faire avancer le véhicule plutôt qu'à déplacer le piston. Il est évidement de même pour toutes les pièces mobiles du moteur).

### 1) Rôle de piston dans un moteur :

Le piston est l'élément mobile assurant la variation de la chambre d'un cylindre. Généralement lié à une bielle, il assure la compression des gaz de combustion et subit leur détente source du mouvement du moteur. Lorsque la chambre est ouverte par une soupape, il expulse les gaz brûlés ou aspire le mélange du cycle suivant.

Le piston est une pièce cylindrique, parfois légèrement conique, et dans certains cas en forme de tonneau; ces formes et le jeu dans son ajustement avec la chemise confèrent à l'ensemble une liaison mécanique moins contraignante pour le montage et le fonctionnement.

### 2) Les principaux éléments du piston :

#### a) La tête du piston :

Pour une analyse plus détaillée, commençons du côté de la tête de piston. Celle-ci assure la partie compression/évacuation des gaz. Sa forme est liée à celle du cylindre. Il existe plusieurs formes de tête de piston :

• Les têtes plates, surtout présentes sur les moteurs 2 temps et moins sur les moteurs 4 temps, dans notre cas nous avons choisi un piston à tête plate.

• Les têtes convexes, avec des empreintes en regard avec les soupapes. La partie convexe permet d'avoir des chambres de combustion plus performantes (meilleure inflammation des gaz, évacuation plus facile et rapide, meilleur refroidissement de la bougie) et des compressions plus élevées. Les empreintes sont légèrement plus grandes que le diamètre des têtes des soupapes, ce qui évite au piston et aux soupapes de se toucher (ce qui pourrait être le cas lors d'un affolement de soupape ou d'un léger déréglage de la distribution).

Pour supporter les explosions, les têtes de piston subissent de plus en plus de traitement de surface afin de les renforcer (exemple : traitement avec nickel, graphite ...), de plus pour obtenir une meilleure évacuation de la chaleur, les têtes sont améliorées par des nervures sur leur verso et ainsi la surface d'échange thermique augmente et permet de mieux dissiper rapidement un surplus de chaleur.

b) Les segments piston:

Les segments sont des anneaux "élastiques" ouverts qui se logent dans des gorges usinées dans la tête du piston. Ils assurent l'étanchéité entre la chambre de combustion (les gaz chauds) et l'huile dans le carter du vilebrequin. Ils assurent aussi l'évacuation de la chaleur de combustion vers le cylindre. Les 3 types de segments sont :

-*Le segment de feu* est le segment en contact avec les gaz. Lors de l'explosion, il est plaqué contre le piston (dans sa gorge) et contre le cylindre, ce qui assure quasiment toute l'étanchéité.

-*Le segment d'étanchéité ou de compression* assure l'étanchéité totale des gaz en arrêtant ceux qui seraient passés par la coupe du segment de feu. Sa coupe est décalée ou tiercée par rapport à celle du segment de feu.

-*Le segment racleur* assure l'étanchéité au niveau de l'huile, il doit "racler" l'huile des parois du cylindre pour éviter qu'elle soit brûlée au cycle suivant.

c) La jupe du piston:

La jupe du piston est la partie qui se situe en dessous du dernier segment et sert au guidage du piston dans le cylindre. Elle peut être complète ou réduite.

Le but de cette réduction est de réduire le poids du piston et les frottements de la jupe sur le cylindre afin d'améliorer les performances du moteur à haut régime. L'état de surface de la jupe est donc primordial pour assurer une bonne lubrification, parfois un traitement de surface peut être appliqué sur le piston ou uniquement sur la jupe, celle prendra alors une coloration gris foncé voire noire.

*d)* L'axe du piston:

L'axe du piston permet de relier le piston à la bielle. L'axe doit être extrêmement résistant de par ses dimensions et les matériaux utilisés, car il subit et transmet les efforts mécaniques dus aux explosions. Il est aussi parfaitement poli pour tourner dans la bille ou dans le piston (parfois les deux). La plupart du temps l'axe du piston est creux pour diminuer le poids de l'équipage mobile sans diminuer sa résistance. Il est généralement maintenu latéralement par ces circlips ou joncs d'arrêt dans le piston, et peut être monté libre ou serré dans la bielle

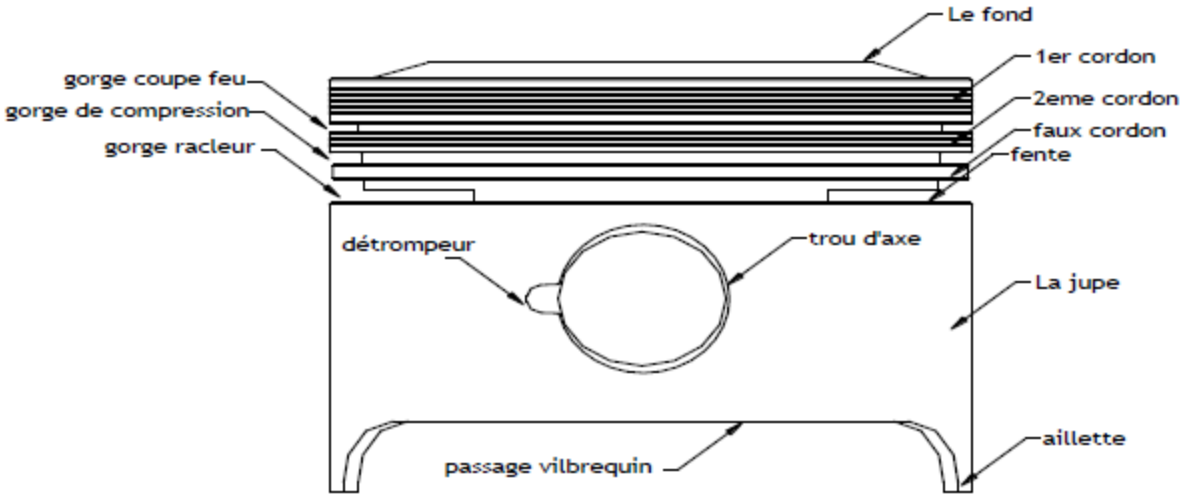



*Figure 4: Les éléments d'un piston*

3) La gamme de fabrication de piston :

Le piston est le cœur du moteur, s'il est bien dimensionné et bien fabriqué, on aura donc un bon rendement du moteur, pour cela le but de l'entreprise est de fabriquer un piston de bonne qualité, contrôlé au micron. Pour cela il doit parcourir toutes les étapes du processus de fabrication.

a) demande du client :

Il peut se faire avec un prototype ou avec un dessin du produit a fabriqué.

b) cout de travail :

On effectue la gamme d'usinage afin de :

- Calculer le temps d'usinage
- La consommation en énergie
- Déterminer le cout de travail ou de la fabrication du produit
- Emploi de la main d'œuvre

Après tous ces calculs, le devis est soumis au client et s'il est favorable alors la production est lancée.

c) le bureau d'étude :

Le bureau d'étude et de développement conçoit le moule pour la coulée. Les calculs sont effectués avec minutie sinon la moindre erreur pourrait avoir des conséquences graves au niveau de la production.

d) Le bureau des méthodes :

Le bureau de méthode a pour rôle d'établir :

- Les gammes d'usinage
- Les dessins des montages d'usinage et de contrôle
- Les dessins d'outillages de production et de contrôle.

e) L'atelier mécanique :

Après les calculs et les dessins réalisés par le BED et BM cet atelier se charge de réaliser le moule et les montages d'usinage et des contrôles.

4) Les différentes étapes la fabrication :

a) La Fonderie :

i. La Matière première :

Les blocs de métal arrivent directement de chez le fournisseur en lingots stockés dans les boxes. Chaque piston est réalisé dans un alliage composé, au minimum, d'aluminium et de silicium avec un pourcentage de 84% de l'aluminium.

| | AS12 en % | AS18 en % | Rôles des composants AS |
|---|---|---|---|
| Silicium (Si) | 12 | 18 | -Augmenter la résistance thermique et mécanique de l'alliage face aux contraintes élevées des moteurs. |
| Fer (Fe) | 0.7 | - | -Améliore les caractéristiques mécaniques. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Cuivre (Cu) | 1.5 | - | -Amélioration des caractéristiques mécaniques des alliages.<br>-Amélioration des aptitudes à l'usinage. |
| Manganèse (Mn) | 0.3 | - | -Augmente la résistance à la traction |
| Magnésium (Mg) | 1.5 | - | -Amélioration des caractéristiques mécaniques. |
| Nickel (Ni) | 1.3 | - | -Augmente la résistance à la corrosion et à la haute température. |
| Zinc (Zn) | 0.2 | - | -Limiter la corrosion.<br>-Augmente les caractéristiques mécaniques. |

*Tableau 2: Les types d'alliages pour la fabrication des pistons*

Remarque : La régulation de la température du four se fait à l'aide d'un thermocouple et d'un système automatique.

- Fondre l'AS 18 à une température de 730°C provoque des défauts dans la coulée.

➢ Les fours de maintiens:

Des fours électriques composés d'un creuset à base de carbure de silicium est céramique à propriétés thermiques intéressantes, entouré d'une résistance électrique. Le tout revêtu d'une couche de laine de verre (isolant thermique).

➢ Le coulage d'échantillon:

On réalise une pièce d'échantillon et on l'envoie au laboratoire de contrôle, pour vérifier la composition chimique du métal et donner le feu vert à l'opération de moulage.

➢ Le démasselotage :

Après l'obtention de la matière brute, il faut enlever le système de la coulée et la masselotte suivant les dimensions du piston.

➢ Contrôle destructif par tournage :

Pour s'assurer de la qualité de la coulée, il est indispensable voire nécessaire de faire un control destructif par tournage. Cette opération consiste à prélever des pistons pour chaque creuset et chaque moule à la fréquence d'une pièce par jour et par référence.

- La stabilisation:

La fonderie est dotée de deux fours de stabilisation pour le traitement thermique des pistons. Les pièces sont passées dans le four de stabilisation (220°C pendant 10 heures) pour réguler la dureté.

- La zone d'attente:

Après la stabilisation les pistons sont stockés en zone d'attente avant l'usinage. Ils sont mis dans des bacs avec des fiches d'identification indiquant leurs références et leurs quantités.

b) Usinage :

L'usinage se fait en plusieurs étapes à l'aide des contrats de phase élaborés par le bureau de méthode et réalisé au niveau des différentes chaines existent en usine.

- Emboitage:

C'est la première opération que subit le piston, son rôle général est de faire un usinage au-dessous du piston pour assurer le bon maintien de la broche dans les autres opérations (création d'une surface de référence).

- Ébauches trou d'axe:

C'est l'opération de l'usinage du trou d'axe. C'est un usinage primaire, il se fait avec une belle précision.

- Cassage angle:

Le but de cette opération est de casser les angles du piston pour éviter qu'ils soient trop affilés et aiguisés.

- Gorges segments:

Dans cette opération, on usine trois gorges segments a la tête du piston qui sert a porter les différents segments (coupe-feu, compression, racleur).

- Finition fond:

On fait usiner le fond du piston pour créer un fond bien plat. Toutes ces opérations déjà mentionnée sont faites sans certaines machines appelées des batteries CN et des tours.

- Perçage racleur:

Il consiste à faire des trous qui sont au nombre de 4 des deux côtés du piston en respectant le même angle de la ligne centrale.

- Rayons internes:

Dans cette étapes, on rend uniforme les rayons intérieurs du trou du piston

Gorges, circlips et chanfreins:

Dans cette opération on fait un petit usinage à l'intérieur du trou pour le circlips qui va bloquer l'axe.

➢ Finition jupe:

Cette opération se fait à l'aide des machines WMT. La finition se fait sur deux parties. Chacune des parties sont différentes.

➢ Finition trou d'axe:

La finition trou d'axe se fait dans l'aléseuse. Cette opération se fait avec une très grande précision, c'est à- dire micron.

➢ Lavage:

Après avoir fabriqué les pistons, ceux-ci vont être lavé dans le bac de lavage pour enlever le lubrifiant.

➢ Marquage:

Le marquage se fait juste avant le control suivant les exigences du plan. Il se fait soit manuellement, soit automatiquement

➢ L'étamage-graphitage:

- L'étamage: c'est une opération qui consiste à déposer une couche de carbonate de soude sur la jupe du piston.
- Graphitage: c'est une opération qui consiste à déposer une couche de graphite sur la jupe du piston.

c) Contrôle :

Après l'usinage, le contrôle visuel et dimensionnel est effectué afin de vérifier qu'il n'y a pas de défaut sur la surface.

i. Contrôle visuel :

Il permet de :

❖ Vérifiant des défauts d'usinage.
❖ Vérifiant des défauts accidentels.
❖ Vérifiant des défauts de marquage.

ii. Contrôle dimensionnel:

Il consiste à vérifier :

❖ Les trous d'axe: l'appareillage utilisé pour cette opération est un montage de contrôle (comparateur + axe).
❖ Le diamètre.
❖ La hauteur de compression.

iii. Super-control :

Après l'étamage et le graphitage les pistons sont expédiés au magasin pour y subir un super contrôle. Dans cette section on fait le contrôle :

- ❖ Du trou d'axe.
- ❖ Des gorges avec des cales étalons d'une grande précision.

d) Emballage :

Si les pièces ont passé l'étape du contrôle, le conditionnement est effectué dans des cartons.

5) Les chaines de production au sein de Floquet Monopole:

Actuellement, Floquet Monopole travaille sur deux chaines de production :

**-La chaine TU1:** elle est spécialisée dans la fabrication des pistons pour la maison RENAULT/CITROUEN qui vont être exportés par la suite vers l'Europe. Elle utilise des machines de la nouvelle technologie de pointe, ces dernières vont être développées par la suite.
**-La chaine classique:** elle produit les pistons considérés comme des pièces de rechange et qui sont destinés pour l'exportation vers les pays de Maghreb, et aussi en cas d'urgence, c'est-à-dire si une machine de la ligne TU1 tombe en panne et reste en arrêt pendant une longue durée, cette ligne classique remplace la première dans la chaine de production jusqu'à ce que celle-ci soit en bonne état de marche.

1) La chaine TU1:

Cette série comporte 6 machines qui sont : l'OP20, OP30, OP40, OP50, OP60, OP70. Ces machines sont très sophistiquées et sont commandées numériquement. Elles exécutent généralement plusieurs opérations en même temps.

- La figure ci-dessous représente la liste des OP(Opérations) au sein de la chaine TU1 :

| Figure | Code poste | Description |
|---|---|---|
| | OP20 | L'ébauche fond, jupe et cordon,<br>L'ébauche et la finition des gorges segments,<br>La finition du fond (bossette et trottoir),<br>La mise en longueur et les cassages des angles. |

| | | |
|---|---|---|
| | OP30 | Permet de réaliser l'ébauche du trou d'axe, chambrage et bain d'huile trou d'axe |
| | OP40 | Permet de réaliser la finition jupe et cordon du piston ainsi que les cassages des angles. |
| | OP50 | Finition du trou d'axe. |
| | OP60 | Le lavage |
| | OP70 | Etalonnage et le marquage : c'est la machine de contrôle des pistons, elle contrôle le diamètre, la hauteur et la décroissance. |

*Tableau 3 : Les opérations de la chaines TU*

2) La chaine classique :

La série classique comporte différentes machines dont la plupart ont très anciennes. Dans cette ligne, le but est de fabriquer des pistons depuis le moulage jusqu'au contrôle final et l'emballage. Mais cette série est généralement en état d'arrêt car elle ne fonctionne que lorsque l'entreprise a une très grande commande.

L'implantation de différentes machines au sein de l'usine :

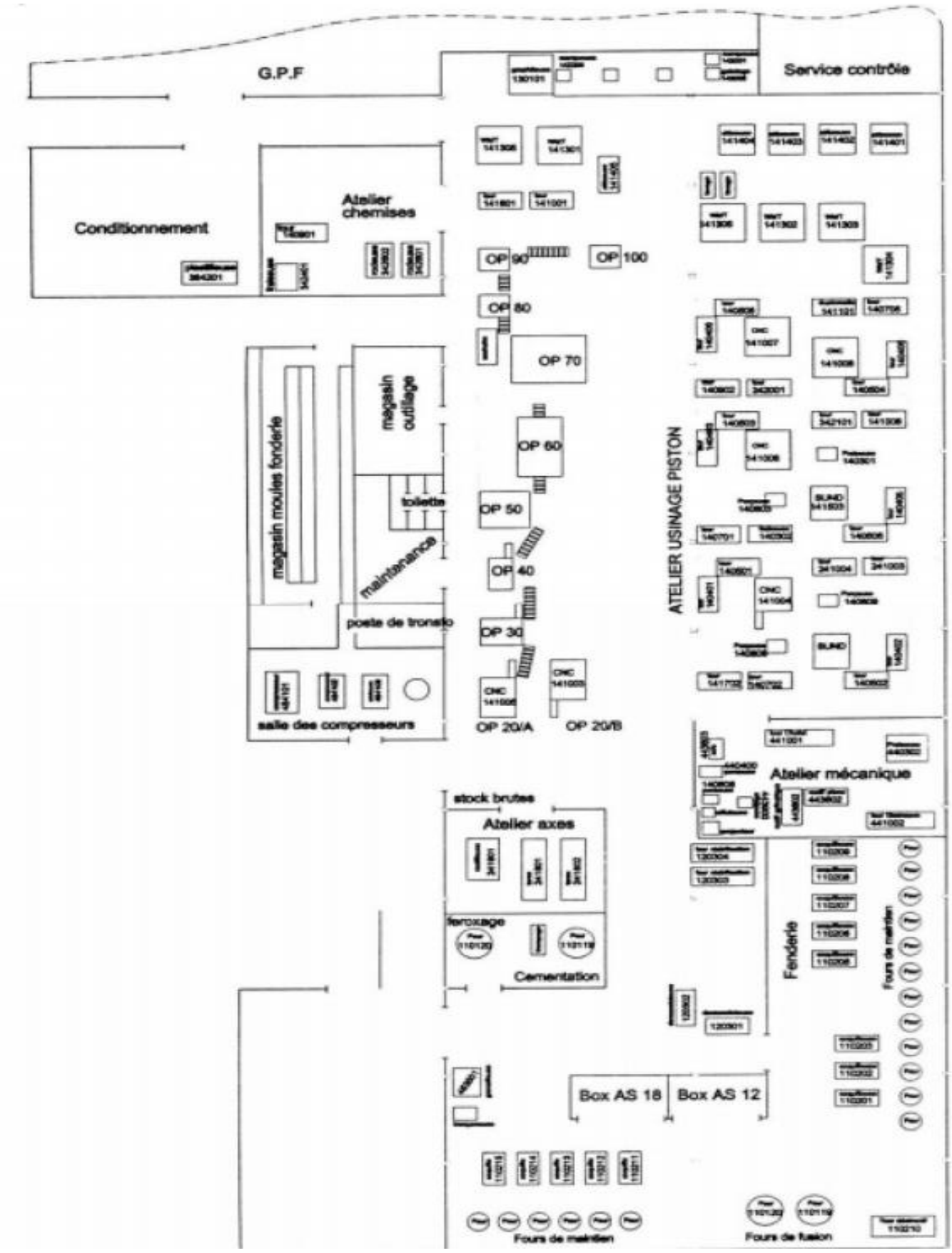



*Figure 5: Implantation des machines à FM*

# Chapitre II : Processus de développement de produit et Présentation de la problématique

Ce chapitre présente les différentes approches de développement de produit dans le but de choisir est de choisir un processus que l'on va traiter pendant ce rapport. Puis, nous présentons la problématique qui s'agit de manque d'un outil spécifié pour mesurer la distance entre les gorges du trou d'axe du piston

I. Les approches de développement de produit :

❖ La conception en ingénierie :

On peut caractériser la conception en ingénierie comme la démarche qui combine les trois aspects :

- Définition des objectifs des projets, les exigences des clients et les contraintes que le projet pourra subir.
- Élaboration de procédé de la conception qui se décompose à :
  - Génération des concepts qui respectent les critères les objectifs déjà soulignées pendant la définition des objectifs et les exigences du client.
  - Choix de concept qui peut être considéré comme le plus convenable.
  - Développement du concept en se basant sur les calculs, les simulations…etc.
- Construction et validation du prototype.

1. L'ingénierie séquentielle :

L'approche classique, aussi appelée « ingénierie séquentielle », se caractérise par une séquence linéaire d'activités menant au développement final du produit. L'analyse des besoins, l'élaboration des concepts, la conception, la fabrication et la distribution sont traitées indépendamment et successivement. Cette approche se caractérise par plusieurs retours en arrière, lesquels occasionnent coûts et délais supplémentaires dans l'exécution du projet.

Les différentes fonctions travaillent individuellement au projet et l'interprétation des besoins du client est teintée par la spécialité de chacune. Cela a pour effet de créer un écart entre le produit final et le besoin initial. D'où les retours en arrière fréquents pour apporter des modifications.

2. L'ingénierie simultanée :

L'ingénierie simultanée est une approche systématique de la conception intégrée et simultanée des produits et leurs processus connexes, y compris l'identification des besoins du client, spécifications du produit, conception du produit et des moyens de fabrication, fabrication du produit.

Cette approche est destinée à provoquer les développeurs dès le départ, pour considérer tous les éléments du cycle de vie du produit de la conception à l'élimination, y compris la qualité, le coût, le calendrier et les exigences des utilisateurs.

## II. Processus de Design d'un produit

Un processus est une séquence d'étapes qui transforme un ensemble d'entrées en un ensemble de sorties. La plupart des gens sont habitués avec l'idée du processus physiques, tels que ceux utilisés pour assembler une automobile. Un processus de développement de produit est la séquence d'étapes ou activités que l'entreprise emploie pour concevoir et commercialiser un produit.

Beaucoup de ces étapes et activités sont intellectuelles et organisationnelles plutôt que physiques.

Certaines organisations définissent et suivent un processus de développement précis et détaillé, tandis que d'autres peuvent même ne pas pouvoir décrire leur processus. En outre, chaque organisation utilise un processus au moins légèrement différent de celui de toute autre organisation. En réalité, la même entreprise peut suivre différents processus pour chacun de différents types de projets de développements.

### 1) Les caractéristiques d'un PDP

Un processus de développement bien défini est utile pour les raisons suivantes:

• Assurance de la qualité: un processus de développement spécifie les phases qu'un projet de développement traversera et les points de contrôle en cours de route. Lorsque ces phases et points de contrôle sont choisis à bon escient, le processus de développement permet d'assurer la qualité du produit résultant.

• Coordination: un processus de développement clairement articulé sert de plan directeur qui définit les rôles de chacun des acteurs de l'équipe de développement. Ce plan informe les membres de l'équipe lorsque leurs contributions seront nécessaires et avec qui ils devront échanger des informations et du matériel.

• Planification: un processus de développement comprend des jalons correspondant à l'achèvement de chaque phase. Le calendrier de ces étapes établit l'échéancier du projet global de développement.

• Gestion: un processus de développement est une référence pour évaluer le rendement d'un effort de développement en cours. En comparant les événements réels au processus établi, un gestionnaire peut identifier les problèmes possibles.

• Amélioration: la documentation attentive et l'analyse continue du processus de développement d'une organisation et ses résultats peuvent aider à identifier les possibilités d'amélioration.

2) Les types des PDP :

a) Approche de Lawson :

L'un des modèles de processus de conception les plus simples et les plus généraux est expliqué en trois étapes itératives; «Analyse - synthèse - évaluation».

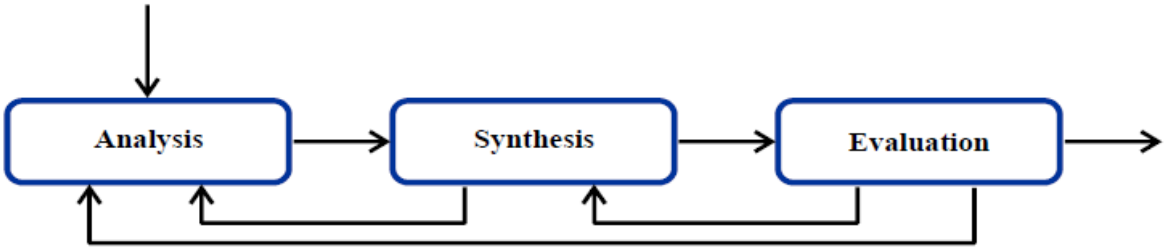



*Figure 6: Approche de Lawson*

Dans ce processus, les concepteurs procèdent à former la spécificité générale, allant de la «proposition des plans» à la «conception de détail». Ce modèle décrit un aspect commun de chaque processus de conception à travers les disciplines de conception et fournit une idée générale de la façon dont une idée de conception est incorporée dans le processus de conception générale. Cependant, il est trop court et général ce qui rend difficile de constaté l'effet de la conception industrielle ou conception d'ingénierie dans telle étape.

b) Le modèle de Karl T.Ulrich & Steven D.Eppinger

Le processus générique de développement de produits se compose de six phases.
Processus commence par une phase de planification, qui est le lien vers activités de recherches avancés et de développement technologique. L'output de la phase de planification est là l'énoncé de mission du projet, qui est l'apport nécessaire pour commencer le développement du concept et qui sert de guider l'équipe de développement. La conclusion du processus de développement produit est le lancement du produit et fixer la date à laquelle le produit devient disponible sur le marché.

- <u>Définition du produit et planification :</u>

La planification est souvent appelée «phase zéro» car elle précède l'approbation du projet et le lancement du processus de développement de produit réel.
Cette phase commence par l'identification des opportunités guidée par la stratégie d'entreprise et comprend l'évaluation des développements technologiques et des objectifs du marché. La

sortie de la phase de planification est l'énoncé de mission du projet, qui spécifie le marché cible pour le produit, les objectifs commerciaux, les hypothèses clés et les contraintes.

- Étude conceptuelle

Dans la phase de développement du concept, les besoins du marché cible sont identifiés, des concepts de produits alternatifs sont générés et évalués et un ou plusieurs concepts sont sélectionnés pour un développement et un test ultérieurs. Un concept est une description de la forme, de la fonction et des caractéristiques d'un produit et s'accompagne généralement d'un ensemble de spécifications, d'une analyse de produits concurrentiels et d'une justification économique du projet.

- Concrétisation du concept

La concrétisation du concept inclut la définition de l'architecture du produit, la décomposition du produit dans les sous-systèmes et composants et la conception préliminaire des composants clés. Les plans initiaux pour le système de production et l'assemblage final sont généralement définis au cours de cette phase. La sortie de cette phase comprend habituellement une disposition géométrique du produit, une spécification fonctionnelle de chacun des sous-systèmes du produit et un diagramme de processus préliminaire pour le processus d'assemblage final.

- Conception détaillée

La phase de conception détaillée comprend la spécification complète de la géométrie, des matériaux et des tolérances de toutes les pièces uniques du produit et l'identification de toutes les pièces standards à acheter auprès des fournisseurs. Un plan de processus est établi et l'outillage est conçu pour chaque pièce à fabriquer dans le système de production. La sortie de cette phase est la documentation de contrôle du produit: les dessins ou les fichiers informatiques décrivant la géométrie de chaque pièce et ses outils de production, les spécifications des pièces achetées et les plans de processus pour la fabrication et l'assemblage du produit.

- Pré-production

La phase de pré-production implique la construction et l'évaluation de versions de pré-production multiples du produit. Les prototypes précoces (alpha) sont habituellement construits avec des pièces-pièces d'origine de production avec les mêmes propriétés géométriques et

matérielles que celles prévues pour la version de production du produit mais pas nécessairement fabriquées avec les procédés réels à utiliser dans la production.

- Lancement de production :

Dans la phase du lancement de la production, le produit est fabriqué à l'aide du système de production prévu. Le but de cette phase est de former la main-d'œuvre et de résoudre les problèmes qui subsistent dans les processus de production. Les produits pendant la montée en puissance de la production sont parfois fournis aux clients privilégiés et sont soigneusement évalués pour identifier les défauts restants.

➢ Conclusion :

Après avoir présenté les différents types d'approches de développement de produit, nous avons décidé à adopter le processus de développement de produit(PDP) selon la démarche de Karl T.Ulrich & Steven D.Eppinger qui se déroule en ingénierie simultanée.

Ce choix est basé sur la capacité de cette méthode à traiter, d'une manière claire et simultanément, tous les aspects du projet et prend en considération tous le cycle de vie du produit et permet d'intégrer toutes les disciplines et leurs activités en lien avec le développement d'un produit.

## III. Présentation de la problématique :

### 1) L'AXE du piston :

L'axe de piston est un élément qui participe à la transformation du mouvement linéaire du piston dans le cylindre en mouvement rotatif du vilebrequin. L'axe est en acier traité alors que le piston est très souvent en aluminium. C'est sur lui que vient se positionner le pied de bielle par l'intermédiaire de la bague de bielle. Il existe 3 types d'axe de piston :

- Axe lisse ou cylindrique

- Axe biconique (intérieur)

- Axe à empreinte (pour vis ou clavette)

*Figure 7: Axes des pistons*

- L'axe lisse ou cylindrique est l'axe de piston le plus courant.

*Figure 8: Axe lisse*

- L'axe Biconique est en fait un axe lisse ou cylindrique dans lequel on usine 2 formes coniques opposées, dans le diamètre intérieur, destinées à l'alléger. L'axe conserve donc son épaisseur et sa solidité en son centre mais est plus léger car moins épais à chaque extrémité.

*Figure 9: Axe biconique*

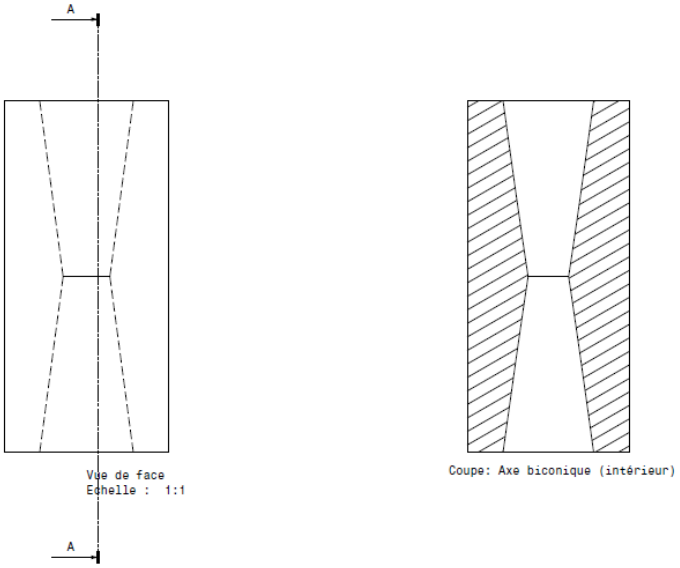



*Figure 10: Axe biconique (coupe)*

- L'axe avec empreinte est un axe lisse dans lequel est usinée une encoche afin de le maintenir en place latéralement et de rendre solidaire l'axe du piston avec la bielle.

*Figure 11: Pied de la bielle pour axe à empreinte*

*Figure 12: Axe à empreinte*

2) Montage de l'axe du piston :

Il existe deux types de montages :

a) Axe libre (flottant) dans la bielle

Dans ce cas, l'axe de piston est maintenu dans son logement par des circlips (fournis).
Sur les moteurs modernes, l'axe de piston est placé dans son logement et maintenu en place par des circlips ou "clips" ou jonc (1 de chaque côté). Ce type de montage permet donc un mouvement du pied de bielle sur l'axe mais aussi de l'axe dans le logement du piston. On peut donc monter ou démonter les bielles et les axes des pistons, à la main, sans autre outil qu'une pince à circlips.

b) Axe serré dans la bielle

Sur les moteurs plus anciens, le montage des axes de pistons est dit " serré " c'est à dire que la bielle et l'axe sont solidaires. Ces axes sont montés à chaud et ne peuvent être démontés qu'avec une presse.

Le montage serre des axes de piston dans le pied de bielle est une opération délicate qui nécessite le plus grand soin. Il est très important que l'axe tourne librement entre le piston et la bielle.

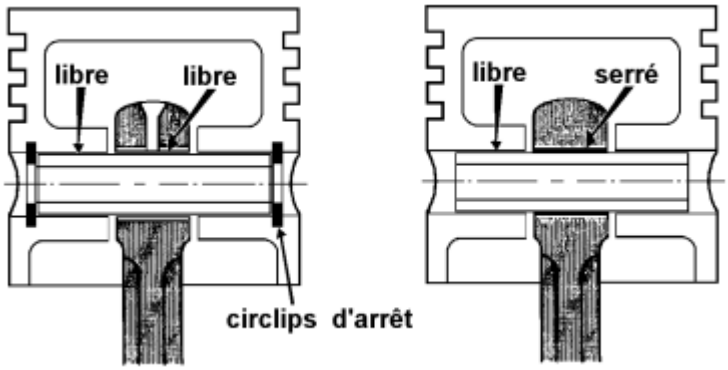



*Figure 13: A gauche: axe libre à droite: axe serré dans la bielle*

Dans le cas d'un montage à AXE LIBRE, les pistons possèdent des gorges pour la fixation des axes à l'aide des circlips. La distance entre les deux gorges est très importante du à son influence sur la structure des pistons.

Dans le cas de circlips, il faut prendre garde à ne pas serrer plus que de rigueur pour ne pas diminuer leur élasticité et compromettre leur appui dans le fond de leur logement. Un montage défectueux de l'axe peut provoquer :

*Figure 14: Circlips de fixation de l'axe*

- La fissuration du piston dans la zone des bossages,
- La détérioration des gorges de circlips,
- La déformation de la bielle et l'usure anormale
- Le grippage du piston

Remarque :

Il faut noter que les axes sont importés de brésil et les circlips sont importés de l'inde, donc chaque défaut d'usinage ou de conception va coûter l'entreprise des dégâts financière fatal, d'où la nécessité de contrôler cette distance.

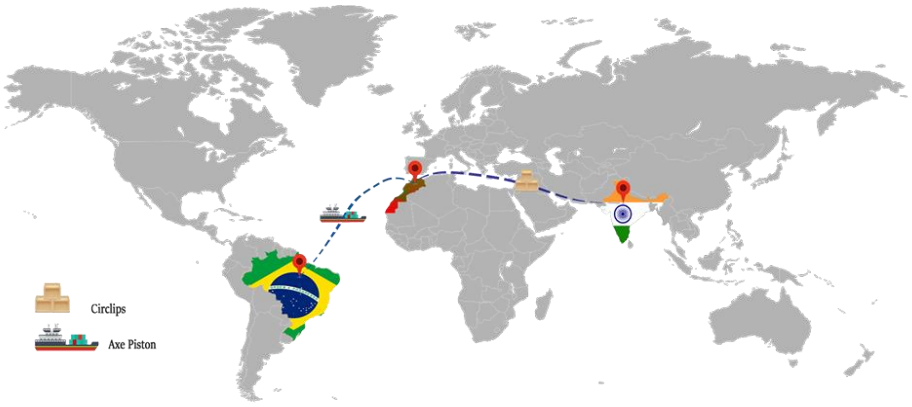



*Figure 15: Carte présentant les pays d'import des circlips et les axes*

Conclusion :

Dans le cas d'un montage à axe libre il est nécessaire de bien contrôler la distance entre les deux gorges du trou d'axe dû à sa criticité et son impact sur la performance du montage (Axe +Bielle +Piston). Comme résultat, la distance entre les gorges du trou d'axe est considérée comme une cote critique que l'on doit contrôler.

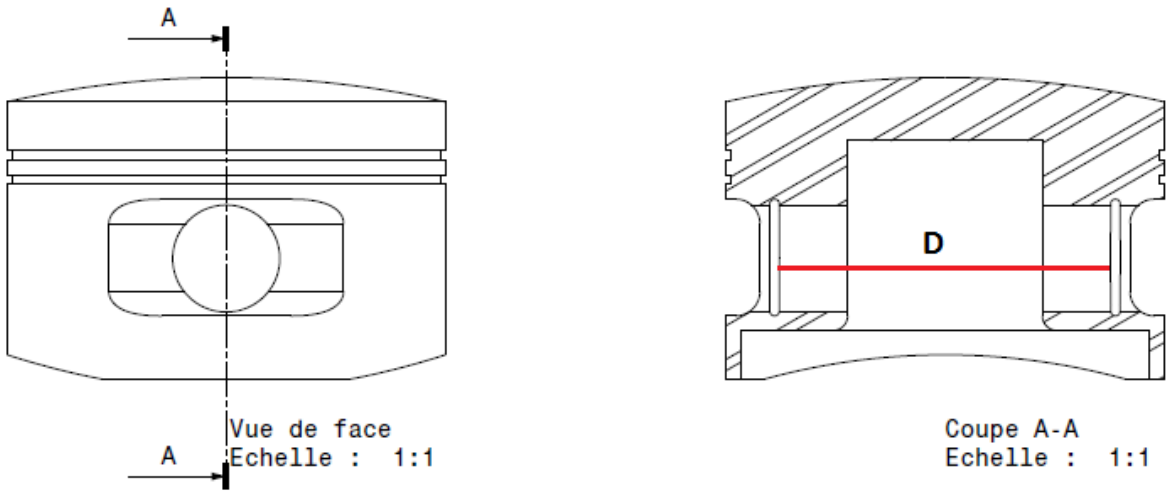



*Figure 16: Présentation de la distance à contrôler*

D : Distance à contrôler.

c) Description de l'état actuel :

a) Méthode ISHIKAWA :

C'est un outil qui permet à identifier les causes d'un problème. On a une vision globale des causes génératrices d'un problème avec une représentation structurée de l'ensemble des causes qui produisent un effet. Il y a une relation hiérarchique entre les causes et on est en mesure d'identifier les racines des causes d'un problème.

Le diagramme d'Ishikawa (ou diagramme en arête de poisson, diagramme cause-effet ou 5M) permet de limiter l'oubli des causes et de fournir des éléments pour l'étude des solutions. Cette méthode permet d'agir sur les causes pour corriger les défauts et donner des solutions en employant des actions correctives.

Construction du diagramme :

Le diagramme d'Ishikawa se présente sous la forme d'un graphe en arêtes de poisson.

Dans ce dernier, sont classées par catégorie les causes selon la loi des 5 M (Matière, Main d'œuvre, Matériel, Méthode, Milieu).

Les 5Ms :

M1 - Matières : matières premières, pièces, ensembles, fournitures, identification, stockage, qualité, manutention

M2 - Matériel : Recense les causes probables ayant pour origine les supports techniques et les produits utilisés. Machines, outils, équipements, capacité, âge, nombre, maintenance

M3 - Main d'œuvre : directe, indirecte, motivation, formation, absentéisme, expérience, problème de compétence, d'organisation et de management

M4 - Milieu : environnement physique, éclairage, bruit, aménagement relations, température, climat, marche, législation

M5 - Méthodes : instructions, manuels, procédures, modes opératoires…

b) L'instrument de mesure utilisé

Après avoir terminé la phase d'usinage, l'opérateur doit inspecter le piston pour cela ce dernier passe par des étapes de contrôle après chaque phase ;

*Figure 17: L'outil actuellement utilisé*

Mais pour les gorges internes et puisqu'il est inutile d'utiliser les instruments de mesure usuels, l'entreprise utilise un pied à coulisse adapté pour réalise la prise de mesure.

Ce genre des pieds à coulisse possède des becs à des formats qui diffèrent des pieds à coulisse usuels qui lui permettre de mesurer la distance entre les deux gorges du trou d'axe.

*Figure 18: Mode d'utilisation de l'outil*

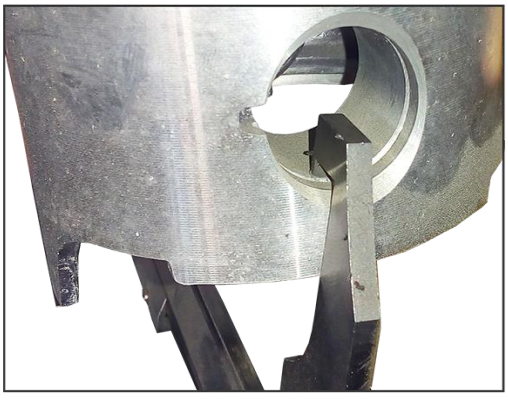


*Figure 20: positionnement du pied à coulisse au niveau des gorges du trou d'axe*

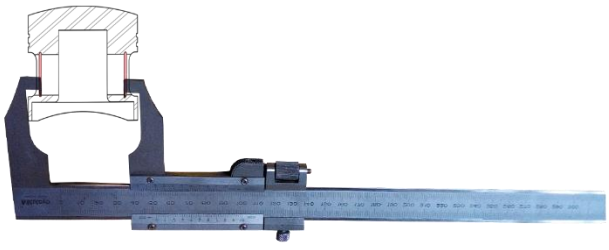


*Figure 19: illustration du montage P.A.C - piston*

c) Inconvénients :

i. défauts de lecture :

La lecture d'une valeur d'un pied à coulisse pose toujours un problème aux opérateurs dans le domaine de la fabrication mécanique. Le fait qu'il faut comparer les traits de la règle du pied à coulisse et distinguer les traits qui sont alignés nécessite que l'opérateur possède une bonne vision pour déterminer la valeur des dixièmes de la mesure.

En plus, puisque le processus de la prise de mesure est plus ou moins lent, il est moins adaptable avec le travail en série dont la rapidité de mesure, en tenant en compte la précision, est nécessaire.

ii. dépend des conditions de travail :

L'environnement du travail a une influence (peut être positive ou négative) sur la prise de mesure dont on peut citer :

- L'éclairage : dans le cas où le niveau d'éclairage est bas au sein de l'entreprise, l'opérateur doit exercer un effort assez élevé pour être capable à lire correctement la valeur donnée par le pied à coulisse.
- Le bruit de machines et d'autres types de perturbations peut influencer les opérateurs dans le sens de diminuer leur concentration.

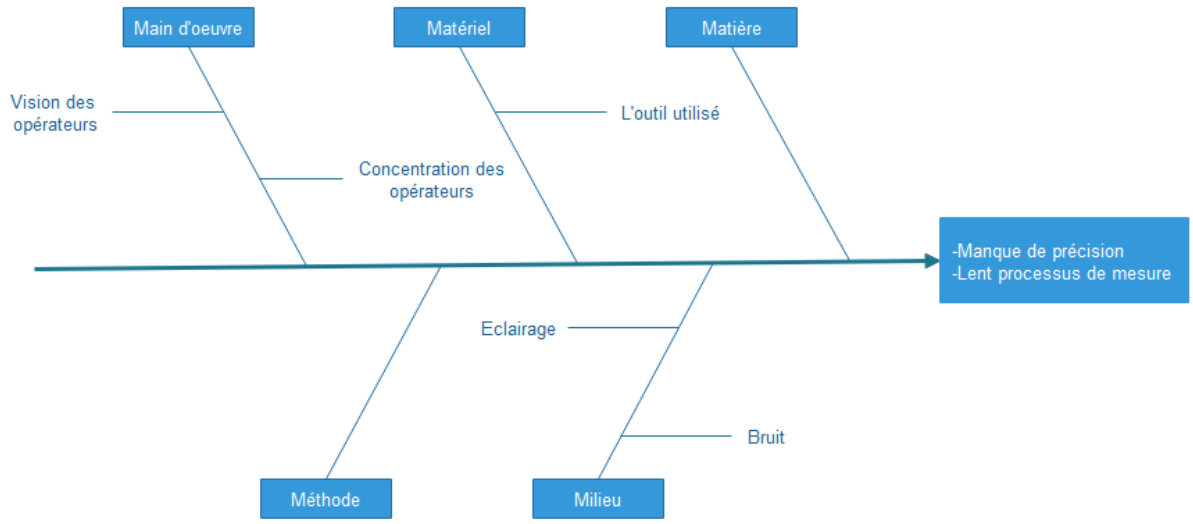



*Figure 21: diagramme Ishikawa*

d) L'objectif visé :

Avec le changement de la politique de production et puisque l'entreprise est en train d'étudier le lancement de nouveaux lignes de production.

L'entreprise doit éliminer cette méthode de mesure, ce qui nécessite de concevoir un modèle de prise de mesure qui va permettre de d'effectuer les mesures pour tous les pistons, en tenant en compte l'environnement où les mesures sont pris, dans le cadre :

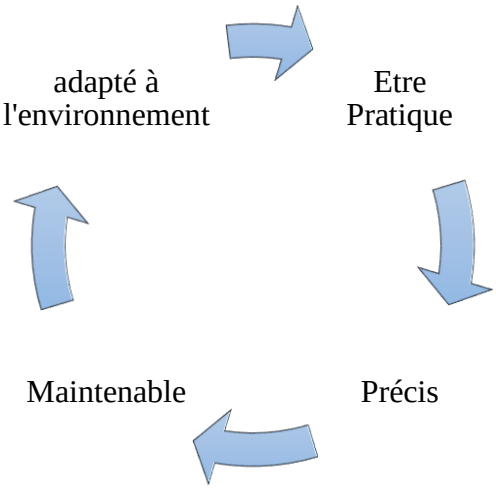



*Figure 22: Cadre générale*

| Cadre Générale du Projet | |
|---|---|
| Etre pratique | Son utilisation doit éviter toute complexité |
| Précision et fiabilité | Les résultats données par cet outil ne doivent pas contenir des erreurs liées à notre dispositif (limiter les erreurs : erreurs d'instrument de mesure + erreurs du dispositif) |
| Maintenable | Rendre facile l'entretien dans le cas où les erreurs de mesures apparaissent. |
| Adapté à l'environnement | Avoir un dispositif utilisable dans toutes les conditions de travail (bruit, éclairage, vibrations…) |

*Tableau 4: Cadre générale du projet*

Conclusion :

Le Schéma IDEF0 ci-dessous résume la démarche adopté pendant ce chapitre :

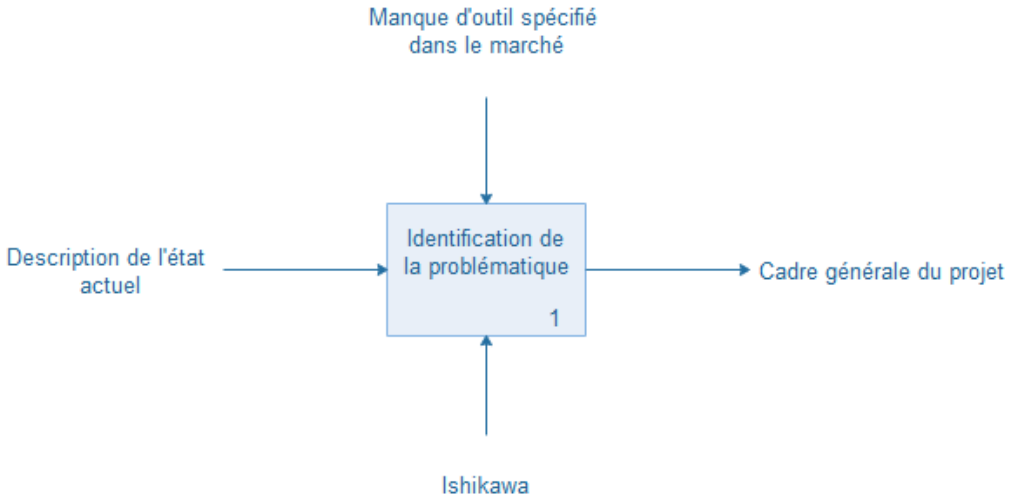



*Figure 23: Schéma IDEF0 pour le chapitre*

# Chapitre III : Définition du Projet et Caractérisation des Fonctions

Ce chapitre se compose de deux parties :

La première consiste à définir les axes de la démarche qu'on va adopter pour la résolution du problème dont on essayera à obtenir des fonctionnalités par la méthode RESEAU pour notre produit.

La deuxième partie sert à bien éclaircir la nature de chaque fonctionnalité par établir leurs critères, niveaux et flexibilités après les avoir caractérisées pour créer le cahier des charges fonctionnel.

## I. Définition du projet :

Cette partie sert à répondre aux questions suivantes :

Que doit faire l'objet ?

Dans quel système est-il intégré ?

Comment ce système fonctionne-t-il ?

### 1) La méthode des 3Q+OPC (5W&H en notation anglaise) :

Méthode permettant de se poser des questions (Qui/who - Quand/when - Quoi/what - Où/where - Comment/how - Pourquoi/why ?) pour explorer un sujet avant d'entamer des recherches dont l'objectif est de faire le tour du thème de recherche en interrogeant chaque partie du 3QOCP.

| 3QOCP | |
|---|---|
| Qui ? | Floquet Monopole (autant qu'un client) |
| Quand ? | Duré du stage |
| Quoi ? | Prendre/contrôler des/les mesures pour les gorges internes (trou d'axe) du piston. |
| Pourquoi ? | Pour bien respecter les dimensionnements établie par le bureau d'étude, en plus pour satisfaire les besoins du client. |
| Où ? | Au sein de Floquet Monopole |
| Comment ? | Conception d'un outil de mesure permettant de réaliser des mesures précis que possible sur les gorges internes du piston. |

*Tableau 5: 3Q+OCP*

2) Diagramme bête à cornes :

Pour chaque projet et pendant ses premières étapes de réalisation. Avant d'imposer un "comment" ou une solution, il faut se tourner vers l'utilisateur et/ou le demandeur, pour aboutir de manière structurée à la solution, car un projet n'a de sens que s'il satisfait le besoin. Il convient donc d'exprimer le besoin et rien que le besoin dès le lancement du projet. Il s'agit d'expliciter l'exigence fondamentale qui justifie la conception, ou la re-conception d'un produit. Pour cela, il est essentiel de se poser les trois questions suivantes :

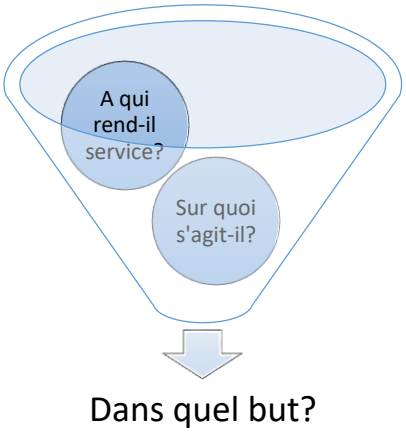
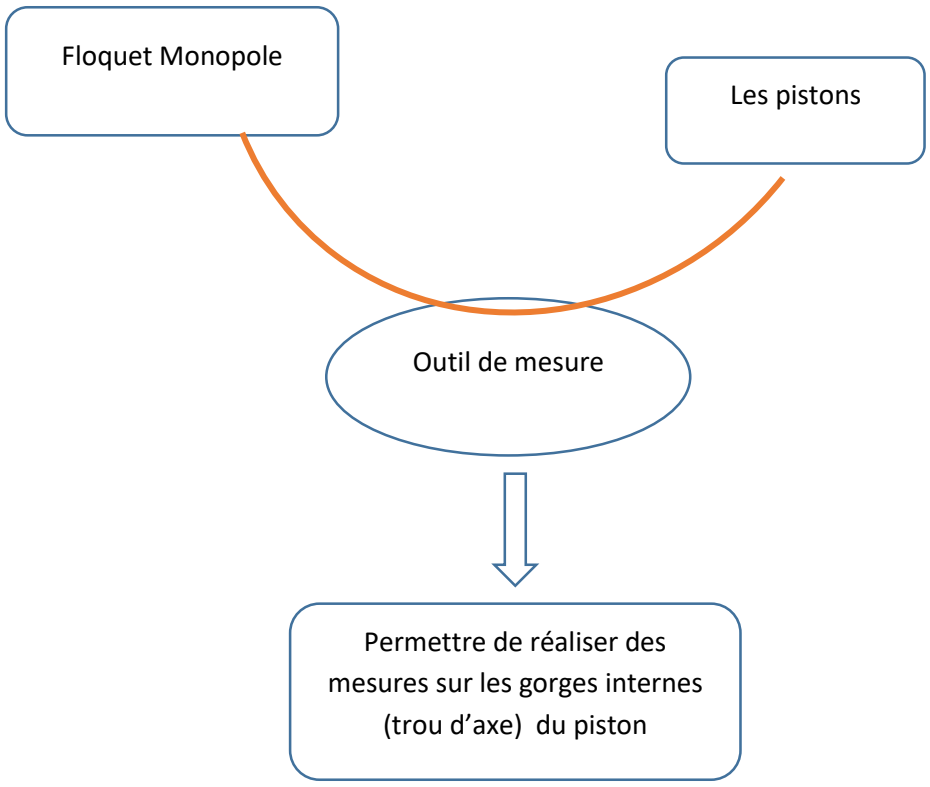



*Figure 24: illustration de la méthode bête à corne*



# II. ANALYSE FONCTIONNELLE :

## 1) Introduction :

L'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un produit pour satisfaire les besoins des clients. On transforme d'abord les besoins des clients en fonctions, ce qui permet de tenir compte de la voix du client tout au long de la conception sans pour autant être influencé par des solutions potentielles. Ensuite, on détermine d'avantage les fonctions de Base et de contrainte du produit, souvent non exprimées par le client.

## 2) Rechercher les fonctions :

### i. C'est quoi une fonction ?

Fonction : il s'agit d'une action réalisé par un produit exprimée sous forme de but à atteindre, en faisant abstraction de toutes solutions.

### ii. Rédaction des fonctions

Pour rédiger les fonctions, il faut :

- Un Verbe préférablement à l'infinitif pour exprimer l'action.
-Un ou des Compléments du verbe, qui décrivent les éléments du milieu extérieur concernés par l'action.

Une fonction doit être aussi exacte que possible, claire et admise par le groupe de travail. De cela dépend des raisonnements ultérieurs.

## 3) Typologie des fonctions :

-Fonctions de service : actions demandées à un produit ou réalisé par lui afin de satisfaire une partie du besoin d'un utilisateur, s'obtient par la question: Qu'est-ce que le produit doit faire ou réaliser pour satisfaire l'utilisateur.

Les fonctions de services se subdivisent en deux catégories :

- Fonction d'usage: fonctions de service ayant un aspect utilitaire.

- Fonction d'estime: fonctions de service ayant un impact psychologique ou affectif sur l'utilisation du produit

-Fonctions techniques : représentent l'action entre les constituants d'un produit définie par les concepteurs dans le cadre d'une solution.

-Fonctions principales : Ce sont les fonctions essentielles d'un produit, la raison d'être de celui-ci. Elles peuvent être des fonctions de service ou encore des fonctions techniques. Souvent, un produit est composé de plus d'une fonction principale.

-Fonctions complémentaires : les fonctions qui réalisent des actions qui complètent, améliorent les services rendus par les fonctions principales. Les fonctions complémentaires peuvent être autant de service que techniques et sont, généralement, en nombre supérieur aux fonctions principales.

-Fonctions de contraintes : Le produit peut être agressé ou risque d'agresser certains éléments du milieu extérieur. La fonction de contrainte établit une liaison entre le futur produit et un ou des éléments de son milieu.

3) La méthode utilisée : RESEAU

La méthode RESEAU, la plus complète à ce jour, qui permet de trouver la totalité des fonctions. Proposé par R. Tassinari, sur la base d'une large expérience. C'est une méthode assez complexe, qui consiste à utiliser divers moyens de recherche de fonctions afin de diminuer les risques d'omission et les erreurs de caractérisation. Lourde à utiliser dans son intégralité, elle utilise 6 démarches d'analyse dont la complémentarité garantit l'exhaustivité de la démarche.

a) Recherche intuitive :

Cette étape sert à traduire les attentes des clients, elle est réalisée à l'aide du « Brainstorming ». Parfois on peut se limiter à cette étape dû au grand nombre de résultats qu'on peut dégager pendant cette phase.

Comme résultat, on peut citer les fonctionnalités de cette étape :

- Réaliser les mesures : un outil de mesure est fait pour réaliser les mesures, sinon, il ne sera pas un instrument de mesure. Cette fonction est une fonction inattendu par le client et considérée nécessaire à être intégré dans le produit.
- Avoir un coût minimal : Pendant la conception de n'importe quel produit, le coût est un facteur primordial pour le concepteur dont il est nécessaire de lui (le coût) tenir en compte lors de la conception.
- Etre manuel (Instrument à main) : cette fonction traduit l'objectif déjà souligné « être pratique ». Pour faciliter l'utilisation du dispositif, avoir un outil manuel peut être plus efficace dans le cas du travail en série dont la cadence de mesure est importante.
- Etre durable : Un choix de matériaux approprié + une bonne conception = un produit qui va durer pour une longue période et qui peut résister l'environnement où il s'y fonctionne.
- Transformer les mouvements mécaniques d'outil en mesures.

Résultat de l'étape :

| Désignation | Fonction |
|---|---|
| F1 | Réaliser les mesures. |
| F2 | Avoir un coût minimal. |
| F3 | Etre manuel (instrument à main). |
| F4 | Etre durable. |
| F5 | Transformation mouvement/mesure |

*Tableau 6: Fonctions obtenues par recherche intuitif*

b) Etude du cycle de vie et de l'environnement

Appelée la méthode des interacteurs, cette méthode sert à découvrir l'influence de environnant sur chaque étape du cycle de vie de produit dont ce dernier se trouvera en interaction avec des systèmes, des lieux et des gens différents. Pour cela le produit doit s'adapter à ces interacteurs, de manière à rendre les services attendus par le client.

Pour appliquer cette méthode il faut :

- Considérer la globalité des situations dans lesquelles le produit pourra évoluer. Cette étape s'est réalisée en définissant le cycle de vie du produit et en identifiant les interacteurs du produit et les caractériser.
- Dégager les fonctions que le produit doit réaliser en tenant en compte les situations où le produit évoluera. Pendant cette phase on cherche les fonctions d'adaptation, qui sont les fonctions qui permettent au produit de s'adapter à ses interacteurs, et les fonctions d'interactions qui se résultent à travers l'interaction de deux ou plusieurs interacteurs.

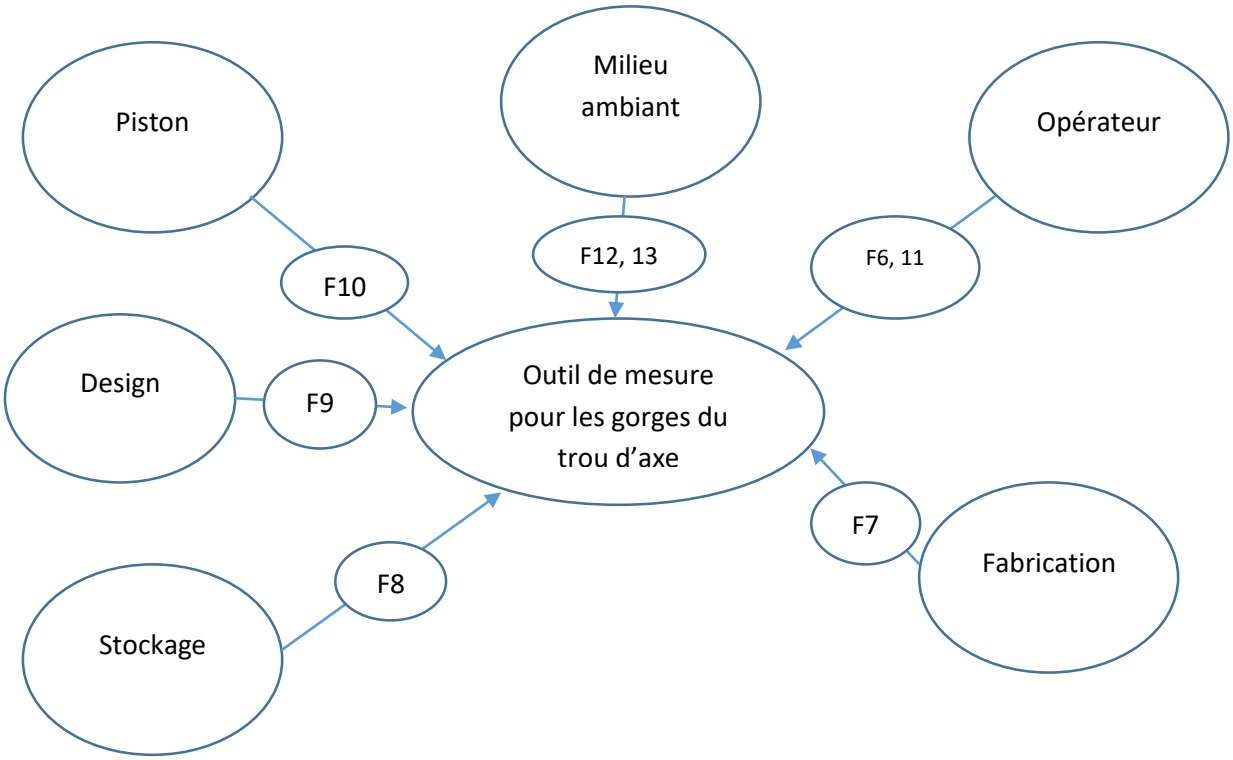



*Figure 25: Examen d'environnement*

| Désignation | Fonction |
|---|---|
| F6 | Manipuler l'outil. |
| F7 | Ne présente pas de complexité de forme. |
| F8 | Avoir un volume et poids optimum. |
| F9 | Avoir de dimensions convenable avec les mains de l'opérateur. |
| F10 | Se positionne parfaitement au niveau des gorges. |
| F11 | Etre facile à utiliser par l'opérateur. |
| F12 | Résiste aux agressions du milieu externe. |
| F13 | Le milieu ne doit pas influencer les résultats. |

*Tableau 7: Fonctions obtenues par examen d'environnement*

c) Sequential Analysis of Functional Elements (SAFE)

Cette méthode américaine, recherche les fonctions d'un produit à travers l'étude des séquences de son cycle de vie.

Mise au point terminologique :

-Une tâche est un ensemble de séquences.

-Une séquence est une suite d'opérations.

-Une opération est un ensemble de phases, qui sont les unités d'action.

Méthodes :

On donne priorité aux séquences d'utilisation du produit.

Il faut identifier les opérations ayant un rapport direct avec l'usage du produit, afin de déterminer les fonctions qui s'y rapportent : on se met à la place de l'utilisateur sans oublier l'environnement où il se trouve.

| Séquence | Fonction obtenue | Désignation |
|---|---|---|
| L'opérateur peut, avec notre dispositif, réaliser les mesures sur tous les types de pistons produites par l'entreprise. | Etre adaptable pour tous les pistons. | F14 |
| Après avoir utilisé l'outil pour une certaine durée, l'utilisateur veut étalonner le dispositif pour avoir des résultats précis que possible. | Etre étalonnable. | F15 |
| Avant l'utilisation de l'outil, l'outil doit obligatoirement commencer la mesure de son état initial. | Commencer de l'état initial (zéro). | F16 |
| Après que l'utilisateur a pris les mesures requis, le dispositif se recule à son état initial. | Remise à zéro. | F17 |
| La mesure est réalisée, on doit visualiser les résultats. | Visualisation de résultats. | F18 |

*Tableau 8: Fonctions obtenues par méthode SAFE*

d) Examen des efforts et des mouvements

Similaire à l'étape précédente cette étape consiste à enlever des fonctionnalités du produit à travers l'imagination de divers chargement ou diverses contraintes appliquées sur le produit.

| Séquence | Fonction | Désignation |
|---|---|---|
| Pendant l'utilisation, l'opérateur n'est pas obliger d'appliquer un grand effort pour utiliser le dispositif. | Requis le minimum d'effort pour manipulation | F19 |
| Choc ou mal traitement | Avoir une structure rigide | F20 |

*Tableau 9: Fonctions obtenues par examen des efforts et des mouvements*

e) Analyse d'un produit de référence

Cette méthode consiste à décortiquer un produit de référence et à analyser chacune de ses composantes en vue de déterminer à quoi celles-ci servent. Cette méthode est très facile à mettre en œuvre et très fructueuse puisqu'elle consiste à étudier des solutions et des produits qui ont déjà faites. Se prête mieux à l'optimisation de produit qu'à l'innovation, car elle nécessite un produit similaire pour l'étude.

Dans le cas de notre projet, nous avons à concevoir un outil de mesure basé sur un ou des instruments de mesures, donc il fallait bien d'étudier les instruments de mesures mécaniques.

❖ Introduction à la métrologie :

➢ Définition :

La métrologie peut se définir comme étant "la science de la mesure associée à l'évaluation de son incertitude". Au sens large; c'est une science de la mesure.

Mesure(x) = résultat du mesurage d'une grandeur physique(X).

Dont :

La grandeur physique (X) : Paramètre qui doit être contrôlé lors de l'élaboration d'un produit ou de son transfert. Exemple : pression, température, niveau, longueur…

Le mesurage : C'est l'ensemble des opérations ayants pour but de déterminer la valeur d'une grandeur physique.

La mesure (x) : C'est l'évaluation d'une grandeur par comparaison avec une autre grandeur de même nature prise pour unité.

On peut définir aussi :

L'incertitude (dx) : Le résultat de la mesure (x) d'une grandeur (X) n'est pas complétement déni par un seul nombre. Il faut au moins la caractériser par un couple (x, dx) et une unité de mesure. (dx) est l'incertitude sur x. Les incertitudes proviennent des différentes erreurs liées à la mesure.

- Ainsi, on a :

$$x - dx < X < x + dx$$

Erreur absolue (e) : C'est le résultat d'un mesurage moins la valeur vraie de la grandeur physique. Une erreur absolue s'exprime dans l'unité de la mesure.

$$e = X - x \text{(En unité de mesure)}$$

Erreur relative (er) : C'est le rapport de l'erreur de mesure à la valeur vraie de la grandeur physique. Une erreur relative s'exprime généralement en pourcentage de la grandeur mesurée.

$$\boldsymbol{e_r} = \frac{\boldsymbol{e}}{\boldsymbol{X}} \text{(Sans unité)}$$

Ou bien, on peut la présenter en pourcentage :$\boldsymbol{e_r}(\%) = 100 \times \boldsymbol{e_r}$

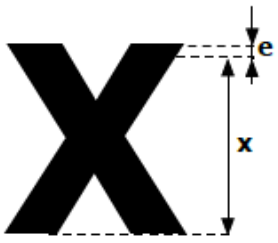



*Figure 26: Erreur de mesure*

- Chaine de mesure : ses caractéristiques

- Principe d'une chaine de mesure

La structure de base d'une chaine de mesure comprend au minimum trois étages :

- Un capteur sensible aux variations d'une grandeur physique et qui, à partir de ces variations, délivre une autre grandeur physique.

- Un conditionneur de signaux dont le rôle principal est l'amplification du signal délivre par le capteur pour lui donner un niveau compatible avec l'unité de visualisation ou d'utilisation. Cet étage peut parfois intégrer un filtre qui réduit les perturbations présentes sur le signal.

- Une unité de visualisation et/ou d'utilisation qui permet de lire la valeur de la grandeur et/ou de l'exploiter dans le cas d'un asservissement, par exemple.

Cette structure de base se rencontre dans toutes les chaînes de mesure quelle que soit leur complexité et leur nature.

De nos jours, compte tenu des possibilités offertes par l'électronique et l'informatique, les capteurs délivrent un signal électrique et la quasi-totalité des chaînes de mesure sont des chaînes électroniques.

- Gamme de mesure - Etendue de mesure

La gamme de mesure, c'est l'ensemble des valeurs du mesurande pour lesquelles un instrument de mesure est supposé fournir une mesure correcte. L'étendue de mesure correspond à la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale de la gamme de mesure. Pour les appareils à gamme de mesure réglable, la valeur maximale de l'étendue de mesure est appelée pleine échelle.

Remarque : lorsqu'un appareil indicateur possède un cadran gradué en unités de la grandeur à mesurer.

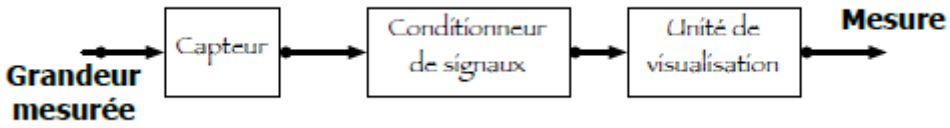



*Figure 27: Chaine de mesure*

- Sensibilité

Soit X la grandeur à mesurer et x le signal fourni par l'appareil de mesure. A toutes valeurs de X, appartenant à l'étendue de mesure, correspond une valeur de x.

$$x = f(X)$$

La sensibilité autour d'une valeur de X est le quotient m :

Où $$m = \frac{dx}{dX}$$

Si la fonction est linéaire, la sensibilité de l'appareil est constante :

$$m = \frac{\Delta x}{\Delta X}$$

Parmi les outils qu'on utilise en métrologie, on trouve :

i. Pied à coulisse :

*Figure 28: Pied à coulisse à vernier*

Avec les règles ou les réglets, c'est l'instrument 'de base' du métrologue. Un pied à coulisse est généralement constitué d'une règle graduée et d'un coulisseau, portant tous les deux un bec à leur extrémité. Suivant la forme de l'instrument et le type de becs, les applications peuvent être très différentes.

Un pied à coulisse est aussi bien utilise pour des mesures extérieures (longueurs, épaisseurs, hauteurs, diamètres extérieurs, etc.) que pour des mesures intérieures (diamètre de gorges ou de rainures, profondeur de méplats sur des arbres cylindriques, profondeur d'alésages, etc.). Certains sont mêmes destines a la mesure d'entraxes (les becs sont alors remplaces par des pointes coniques) ou à la mesure de dents d'engrenages. Bref, on trouve sur le marché une très grande variété de modelés, dotes de becs de toutes formes et de toutes tailles.

En plus, les pieds à coulisse ont comme avantage : la plage de mesure qui est considérer grande ce qui permet de prendre des mesures pour une très large gamme de produits avec un seul instrument (Pied à coulisse).

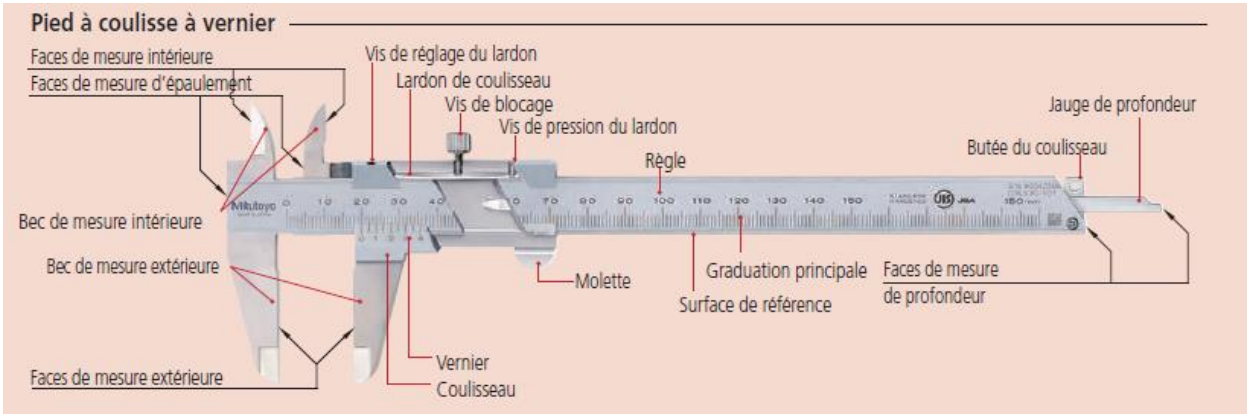



*Figure 29: Description d'un pied à coulisse*

Fonction obtenue : Permettre à notre dispositif à avoir une large plage de mesure pour être capable à réaliser les mesures pour tous les types des pistons produites par l'entreprise.

ii. Comparateurs Mécanique :

*Figure 30: Comparateur mécanique*

ii. Le comparateur est un appareil de mesure de longueur. Il n'indique pas une mesure absolue mais une mesure relative par rapport à un point de référence.

Le comparateur se compose d'un cadran gradué avec une aiguille pivotant en son centre ou d'un écran à cristaux liquides. Dans le cas d'un comparateur analogique, une lunette composée d'un ou plusieurs index pivote manuellement autour du cadran. L'index permet à l'utilisateur de matérialiser le point zéro et un totaliseur indique le nombre de tours effectués par l'aiguille.

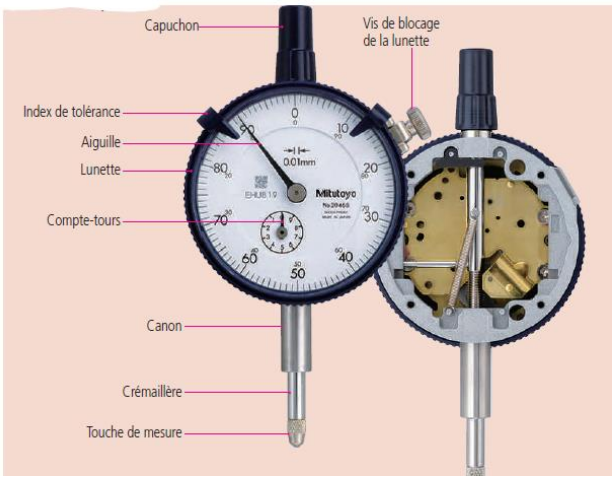



*Figure 31: Description d'un comparateur*

Le palpeur est constitué de deux parties : la tige et la touche. La touche est vissée au bout de la tige. Diverses formes de touches sont utilisées suivant la forme de la pièce à mesurer.

Types de cadran :

Les comparateurs à cadran conçus pour des mesures de dimensions comparables avec la plage d'un micromètre sont généralement équipés de cadrans continus multi-tours à graduation dans le sens horaire. Certains possèdent un cadran à graduation bidirectionnelle permettant une mesure dans le sens inverse. Les cadrans à lecture uniquement inversée s'utilisent sur les jauges de profondeur et vérificateurs d'alésages. Les instruments destinés aux mesures comparatives sont dotés d'un cadran symétrique dont la graduation augmente dans les deux sens à partir du zéro central, permettant la lecture d'écarts faibles par rapport à une surface de référence. Ce cadran peut être limité à un seul tour pour éviter les erreurs de lecture.

Fonctions obtenues :

On peut résumer les avantages du comparateurs en :

- Rapidité de lecture et précision : il est plus facile de lire les mesures données par le comparateur par rapport aux autres instruments de mesures.
- Mesure et interprétation en temps réel : les résultats sont donnés d'une manière instantanée et ils ne nécessitent aucune interprétation. Cette fonction permettre la facilité de réalisation des mesures.
- Permettre la comparaison : pour le contrôle de qualité, il est nécessaire de vérifier si les dimensionnements des pièces fabriqués se situent dans les limites de tolérance. Puisque le comparateur possède des Indexes de comparaisons qui nous permettre de marquer la zone de tolérances.
- Etre sensible : le dispositif doit posséder une sensibilité assez élevée pour permettre une prise de mesure précise que possible.

iv. Micromètres :

La configuration unique du micromètre repose sur un axe identique pour la mesure et la lecture. Les éléments constitutifs du micromètre sont les suivants :

*Figure 32: micromètre*

Touche fixe : la mesure s'effectue par rapport à cette surface. Elle est plane, parallèle à la surface de mesure de la broche et doit toujours être propre. Lors du stockage, les surfaces de mesure des modèles 0-25 mm doivent être légèrement écartées l'une de l'autre pour permettre à l'humidité de s'évaporer et lutter ainsi contre la corrosion.

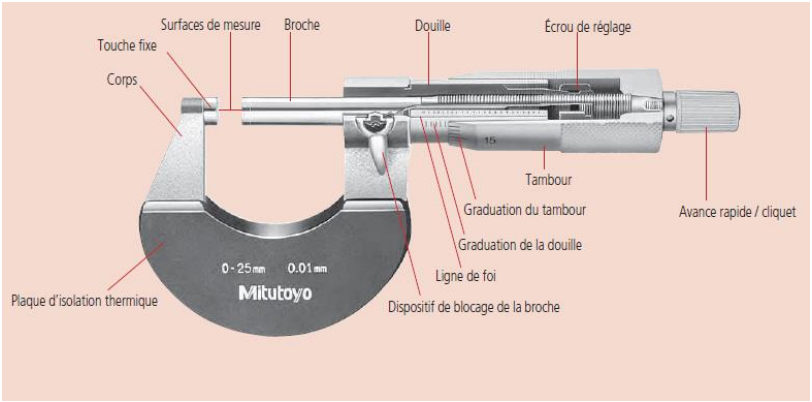



*Figure 33: description d'un micromètre*

Broche : il en existe deux types : la broche rotative, qui est le type standard, et la broche non-rotative qui est utilisée lorsqu'une extrémité de broche de forme particulière doit être maintenue

dans une orientation particulière, comme dans le cas du micromètre à touches couteaux conçu pour mesurer des gorges étroites. Le diamètre de la broche peut s'étendre de 6,35 mm (.250 inch), pour les modèles les plus petits, jusqu'à 8 mm pour les plus gros micromètres.

Tambour à friction ou blocage à cliquet : la première amélioration notable apportée au modèle de Palmer a été de limiter la force de mesure à un niveau raisonnablement faible et constant grâce à un cliquet à ressort.

*Figure 34: micromètre à broche rotative*

*Figure 35: micromètre à broche non rotative*

Puisque le micromètre donne la possibilité de désassembler la broche du corps du micromètre (touche fixe). On peut s'inspirer de cet instrument pour avoir des pièces qu'on peut monter ou démonter de notre dispositif.

- Fonction Obtenue :
  - Etre démontable
  - Avoir un minimum d'erreurs.

Résultat de l'étape :

| Désignation | Fonction |
|---|---|
| F21 | avoir une large plage de mesure. |
| F22 | Rapidité de lecture et précision (de lecture). |
| F23 | Mesure et interprétation en temps réel. |
| F24 | Permettre la comparaison. |
| F25 | Etre sensible. |
| F26 | Etre démontable. |
| F27 | Avoir minimum d'erreur. |

*Tableau 10: Fonctions obtenues par analyse d'un produit de référence*

- Conclusion :

Cette phase nous a permis d'enlever les fonctions que l'outil doit posséder qui convient avec le besoin et les exigences client. Pour cela, il fallait mieux de caractériser ces fonction pour leur donner la possibilité à être employer pendant la phase de génération des concepts

4) Caractérisation des fonctions :

Maintenant que toutes les fonctions sont trouvées en apparence, ces dernières doivent être triées, reformulées, voir éliminées selon le cas. Il est primordial de garder une trace des opérations effectuées sur les fonctions en incluant des commentaires au tableau brut des fonctions. Les opérations suivantes permettent généralement de faire le ménage dans les fonctions :

On commence évidemment par repérer les fonctions redondantes. On conserve la meilleure expression pour chacune d'elle et on élimine les autres. Aussi, les fonctions qui sont trop superflues ou farfelues sont aussi éliminées selon le gros bon sens.

Par la suite, on tente de repérer les fonctions à caractère technique qui réfèrent à des concepts et non à une fonction du produit. Elles peuvent être soit éliminées ou encore mises de côté pour être utilisées subséquemment pour expliciter des fonctions d'usage de l'arbre fonctionnel. On les archive généralement dans les notes à la conception.

Aussi, on tente d'isoler au maximum les fonctions d'estime du produit. Ces fonctions interagissent parfois dans la construction de l'arbre fonctionnel selon la nature du produit. Certaines sont d'ailleurs essentielles pour la satisfaction du client. Cependant, il faut se rendre à l'évidence qu'un produit peut tout de même être fonctionnel sans considérer ses fonctions d'estime qui traduisent généralement les considérations du client. D'ailleurs, autant que possible, les fonctions d'estime ne devraient servir que pour établir des spécifications d'ingénierie complémentaires pour la sélection des concepts.

Pour cela, nous avons réalisé la caractérisation en assemblant toutes les fonctions qu'on a déjà obtenue pendant l'étape précédente, assigner pour chaque fonction sa typologie (service (usage ou estime), technique ou de contrainte).

| Désignation | Fonction | Type de fonction |
|---|---|---|
| F1 | Réaliser les mesures. | Principale |
| F2 | Avoir un coût minimal. | Contrainte |
| F3 | Etre manuel (instrument à main). | Service (usage) |
| F4 | Etre durable. | Contrainte |
| F5 | Manipuler l'outil. | Principale |
| F6 | Transformer le mouvement en mesure | Service |
| F7 | Ne présente pas de complexité de forme. | Contrainte |
| F8 | Avoir un volume et poids optimum. | Contrainte |
| F9 | Avoir de dimensions convenable avec les mains de l'opérateur. | Contrainte |
| F10 | Se positionne parfaitement au niveau des gorges. | Service |
| F11 | Etre facile à utiliser par l'opérateur. | Service |
| F12 | Résiste aux agressions du milieu externe. | Contrainte |
| F13 | Le milieu ne doit pas influencer les résultats. | Contrainte |
| F14 | Etre adaptable pour tous les pistons. | Contrainte |
| F15 | Etre étalonnable. | Technique |
| F16 | Commencer de l'état initial (zéro). | Service |
| F17 | Remise à zéro. | Service |
| F18 | Visualisation de résultats. | Service |
| F19 | Requis le minimum d'effort pour manipulation. | Technique |
| F20 | Avoir une structure rigide. | Contrainte |
| F21 | avoir une large plage de mesure. | Service |
| F22 | Rapidité de lecture et précision (de lecture). | Service |
| F23 | Mesure et interprétation en temps réel. | Service |

| | | |
|---|---|---|
| F24 | Permettre la comparaison. | Service |
| F25 | Etre sensible. | Service |
| F26 | Etre démontable. | Technique |
| F27 | Avoir minimum d'erreur. | Service |

*Tableau 11: Caractérisation des fonctions*

Remarque :

Il existe des fonctions dont on peut les regrouper dans une seule fonction, par exemple :

| | |
|---|---|
| F4 | Etre durable |
| F10 | Résiste aux agressions du milieu externe. |
| F19 | Avoir une structure rigide |

| | |
|---|---|
| F25 | Etre résistant. |

Pour le résultat final, on obtient :

| Désignation | Fonction | Type de fonction |
|---|---|---|
| F1 | Réaliser les mesures. | Principale |
| F2 | Avoir un coût minimal. | Contrainte |
| F3 | Etre manuel (instrument à main). | Service (usage) |
| F4 | Manipuler l'outil. | Principale |
| F5 | Ne présente pas de complexité de forme. | Contrainte |
| F6 | Transformer le mouvement en mesure | |
| F7 | Avoir un volume et poids optimum. | Contrainte |
| F8 | Avoir de dimensions convenable avec les mains de l'opérateur. | Contrainte |
| F9 | Se positionne parfaitement au niveau des gorges. | Service |
| F10 | Etre facile à utiliser par l'opérateur. | Service |
| F11 | Le milieu ne doit pas influencer les résultats. | Contrainte |
| F12 | Etre adaptable pour tous les pistons. | Contrainte |
| F13 | Etre étalonnable. | Technique |

| | | |
|---|---|---|
| F14 | Commencer de l'état initial (zéro). | Service |
| F15 | Remise à zéro. | Service |
| F16 | Visualisation de résultats. | Service |
| F17 | Requis le minimum d'effort pour manipulation. | Technique |
| F18 | avoir une large plage de mesure. | Service |
| F19 | Rapidité de lecture et précision (de lecture). | Service |
| F20 | Mesure et interprétation en temps réel. | Service |
| F21 | Permettre la comparaison. | Service |
| F22 | Etre sensible. | Service |
| F23 | Etre démontable. | Technique |
| F24 | Avoir minimum d'erreur. | Service |
| F25 | Etre résistant. | Contrainte |

*Tableau 12: Caractérisation des fonctions (modifiée)*

Après avoir terminé cette étape, il est possible de procéder à établir un cahier des charges fonctionnel.

5) Cahier des charges fonctionnel (CdCF) :

Maintenant que les fonctions du dispositif sont trouvées, triées et validées, ces dernières servent à générer les spécifications fonctionnelles. Ces spécifications constituent la base du cahier des charges fonctionnelles (CdCF) du produit. Voici la façon de procéder pour créer ce document très important.

La première étape pour la création du CdCF est de convertir les fonctions en spécifications fonctionnelles. À noter que généralement les fonctions menant aux spécifications fonctionnelles proviennent en partie des besoins du client eux-mêmes convertis en fonctions. Par contre, aucune des fonctions ne provient des besoins du client pour les exemples de ce document. Pour chaque fonction, on trouve une ou plusieurs spécifications.

Ce sont ainsi des critères de conception pour chaque fonction. Ces dernières expriment des objectifs de conception mesurables qui permettent de vérifier « concrètement » si une fonction en question est réalisée par le produit. Évidemment, toute spécification qui ne peut être mesurée

ou observée**,** selon le cas, est totalement inutile et n'a, par conséquent, pas sa place dans le CdCF.

On définit pour chaque spécification les éléments suivants :

- Fonction d'origine et son type (service ou contrainte à ce stade du PDP);
- Expression de la spécification d'ingénierie (fonctionnelle à ce stade du PDP);
- Définition de la spécification fonctionnelle indiquant la méthode de mesure si nécessaire;
- Le niveau de la spécification fonctionnelle;
- La flexibilité sur le niveau.

Les spécifications fonctionnelles sont indépendantes des concepts qui seront choisis pour la suite.

*Tableau 13: Cahier des charges fonctionnel*

| Désignation | Fonction | Type | Spécification d'ingénierie | Définition | Niveau | Flexibilité |
|---|---|---|---|---|---|---|
| F6 | Avoir un volume et poids optimum | Contrainte | La masse volumique. | La masse et le volume doivent être convenables. | **ρ** = 2700Kg/m³ (*) | Min |
| F7 | Avoir de dimensions convenable avec les mains d'opérateur. | Contrainte | Diamètre de prise. | Le diamètre de prise doit permettre la bonne préhension de l'outil. | Φ = 40mm. | ±10mm. |
| F8 | Se positionne parfaitement au niveau des gorges. | Service | Epaisseur des becs qui se positionne sur les gorges. | Les épaisseurs des becs du dispositif doivent tenir en compte la plus petite épaisseur de gorge. | E = 1mm (**) | Max |
| F11 | Etre adaptable pour tous les pistons. | Contrainte | Diamètre des becs d'outil. | Le diamètre des becs de mesures doit être ronde et possèdent un diamètre inférieur au diamètre du trou d'axe du plus petit piston. | Φ = 14mm (**) | Max |
| F16 | Requis le minimum d'effort pour la manipulation. | Technique | Force appliquée. | Force appliquée par l'utilisateur pour le manipuler. | - | Fmax=2.5N<br>Fmin=0.4N (***) |
| F17 | avoir une large plage de mesure. | Service | Mesure. | Le dispositif doit être utilisable pour les pistons | L = 50 – 150 mm | - |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | de tous les diamètres. | | |
| F18 | Rapidité de lecture et précision (de lecture). | Service | Visualisation | Dimensions du composant d'affichage des résultats (diamètre cadran et graduation) (**). | Φ = 57mm<br><br>0.01mm/graduation (***) | Min<br><br>Max |
| F19 | Mesure et interprétation en temps réel. | Service | Temps de réponse | La durée entre la réalisation de mesure (mouvement du bec) et l'affichage du résultat. | T = 1s | Max |
| F24 | Etre résistant. | Contrainte | rigidité | | E = 70 GPa (*) | Min |

➢ Conclusion :

Après avoir déterminé les fonctions, les caractérisées et établir le cahier des charges fonctionnel CdCF, On peut procéder à l'étape suivante qui concerne la génération des concepts pour notre produit.

(*) : Valeurs basées sur l'aluminium, puisque l'entreprise utilise l'aluminium comme matériau de base pour la production donc il existe une abondance pour ce matériau.

(**) : Voir Annexe 3

(***) : Voir Annexe 2

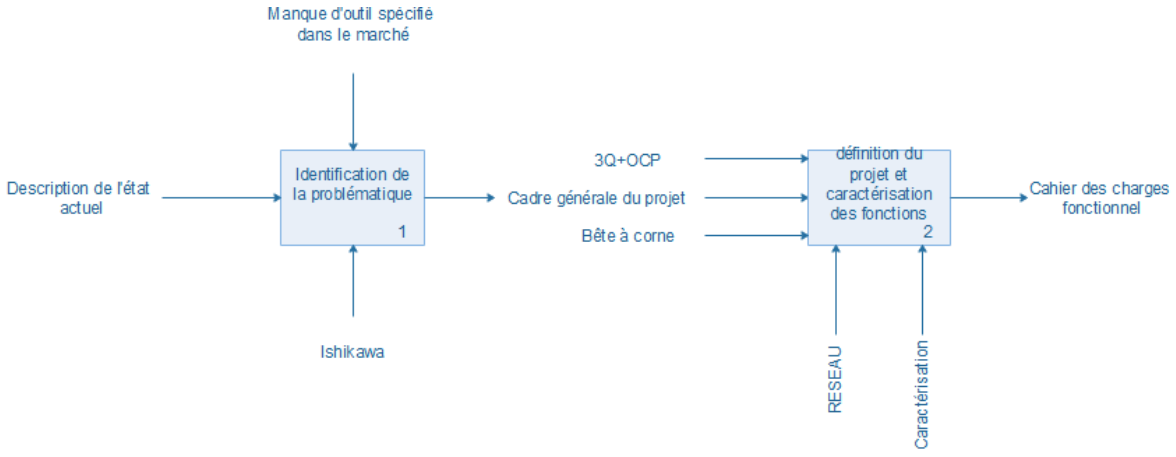



*Figure 36: Schéma IDEF0 de l'avancement du projet*

# Chapitre IV : Génération & choix des concepts.

A travers ce chapitre nous dégagerons des concepts en se basant sur les résultats des chapitres précédents et une méthode de génération des concepts : la matrice morphologique. Puis, nous choisissons le meilleur concept en utilisant la matrice de Pugh.

# I. Génération des concepts :

## 1) La matrice morphologique :

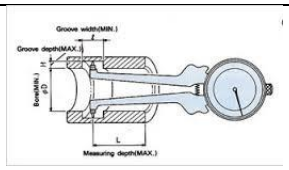
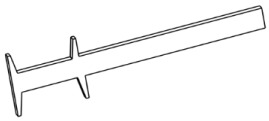
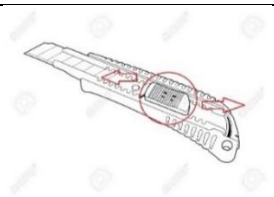
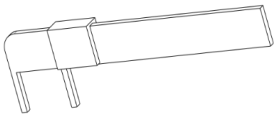
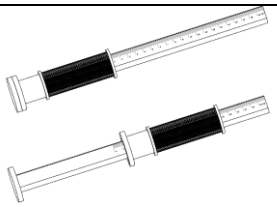
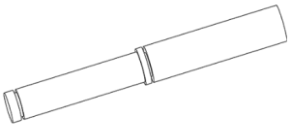
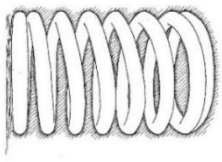
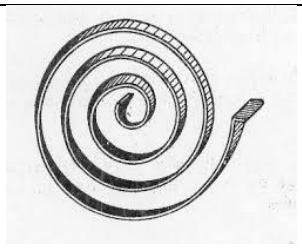
### a) Définition :

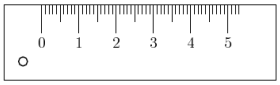
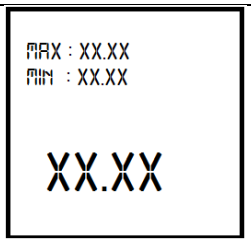
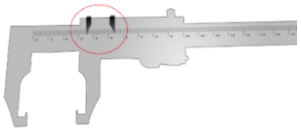
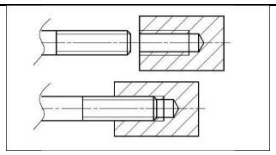
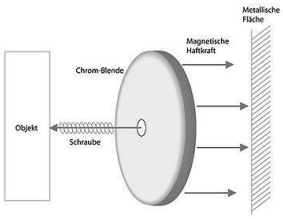
La matrice morphologique est un outil de génération d'options (concepts). Il s'agit d'un moyen structuré et systématique qui permet de générer un grand nombre de possibilités comprenant de nombreuses options uniques ou très inhabituelles. L'utilisation d'une matrice morphologique implique d'identifier trois à cinq grands paramètres (ou « concept ») d'une tâche (fonction), identifiant les attributs possibles chaque paramètre pourrait avoir, puis explorer des combinaisons aléatoires des attributs (en sélectionnant un attribut de chaque paramètre pour chaque combinaison). La matrice morphologique peut donner un grand nombre de nouvelles possibilités.

### b) Les étapes d'application de la matrice morphologique :

- On identifie les fonctions dont il est possible de les transformer en des concepts physiques.
- Pour chaque fonction, on génère le maximum de concepts qui réalisent la tâche.
- On combine d'une manière aléatoire des concepts pour avoir des concepts globaux (un concept pour chaque fonction).
- Comme résultat on obtient des combinaisons de concepts qu'on peut les trier, classer et caractériser pour avoir le concept qui semble le plus convenable et qui respecte le Cahier des Charges Fonctionnel.

## 2) Application de la méthode : Matrice Morphologique :

| Concepts / Fonctions | Concept 1 | Concept 2 | Concept 3 |
|---|---|---|---|
| F1 |  (1) | (2) |  (3) |
| F4 |  (4) | (5) | |
| F6 | Mécanisme à came. (6) | Mécanisme à levier. (7) | Mécanisme à glissière. (8) |
| F9 |  (9) |  (10) |  (11) |
| F15 |  (12) |  (13) | (14) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| F16 | (15) | (16) |  (17) |
| F20 | (18) |   (19) |  (20) |
| F23 |  (21) |   (22) | Jonction Male/Femelle (23) |

Description des éléments de la matrice morphologique :

| Désignation | Description |
|---|---|
| 1 | La mesure se fait de l'intérieur. |
| 2 | La mesure se fait de l'extérieur. |
| 3 | Utilisation des calibres GO/NO GO. |
| 4 | Inspiré du poussoir du cutter, la manipulation de l'outil peut être réalisée par un poussoir glissant. |
| 5 | La manipulation de l'outil est réalisée par une molette |
| 6 | Mécanisme à came. |
| 7 | Mécanisme à levier. |
| 8 | Comme dans les pieds à coulisse, la translation des becs donnent les mesures voulues. |

*Tableau 14 : Matrice morphologique*

| | |
|---|---|
| 9 | La fixation sur les gorges se fait par des dents. |
| 10 | La fixation se fait par des disques qui se positionnent au niveau des gorges. |
| 11 | L'outil possède des gorges, on place des cirlips sur les gorges et la mesure est réalisée par l'emplacement des cirlips sur les gorges du dispositif. |
| 12 | Remise à l'état initiale par un ressort. |
| 13 | Remise à l'état initiale par un ressort spirale. |
| 14 | Utilisation de la force d'un aimant pour la remise à zéro. |
| 15 | Visualiser les résultats sur un cadran. |
| 16 | Visualisation numérique. |
| 17 | Lecture des résultats à partir d'une règle. |
| 18 | Indexation sur un cadran. |
| 19 | Indexation numérique. |
| 20 | Indexation sur une règle. |
| 21 | Fixation des pièces démontable par filetage. |
| 22 | Fixation par aimant. |
| 23 | Fixation par des pièces MALE/FEMALE. |

*Tableau 15 : Description des éléments de la matrice morphologique*

❖ Mécanismes à came :

Les cames sont des dispositifs mécaniques permettant la transformation de mouvement connus (rotation et parfois translation) en mouvements dont on peut définir précisément :

-Le déplacement (appelé « levée » de came)

-La vitesse, en particulier lorsque l'on souhaite des accostages à vitesse faible ou des phases de mouvement à vitesse constante (correspondant à des levées dites stationnaires),

-L'accélération permettant ainsi une gestion mieux maîtrisée des effets d'inertie (chocs et vibrations).

On peut en première approche classer les cames en trois familles :

-Les cames circulaires où l'axe de rotation de la came est perpendiculaire à l'axe du poussoir,

-Les cames tambours où les deux axes de la came et du poussoir sont parallèles,

-Les cames rectilignes qui transforment une translation en une autre translation.

Came plate :

Une came plate transforme un mouvement de rotation continu en une translation alternative du poussoir pour peu qu'un maintien de contact soit garanti entre le poussoir et la came, c'est ce principe qui est utilisé au sein d'un moteur à explosion où les cames de l'arbre à cames actionnent un poussoir qui lui-même agit sur les culbuteurs qui commandent les soupapes.

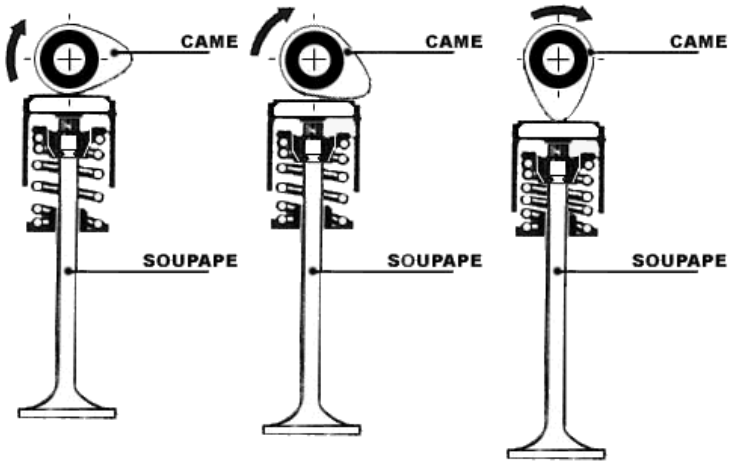



*Figure 37: Came plate*

Came tambour :

Cette famille de cames se présente sous deux formes géométriques principales : soit une rainure dans le tambour qui déplace un doigt mobile en translation (situation courante pour piloter des opérations de bobinage) soit une forme en bout qui pilote un poussoir dont le mouvement est parallèle à l'axe de rotation de la came appelée « came cloche ».

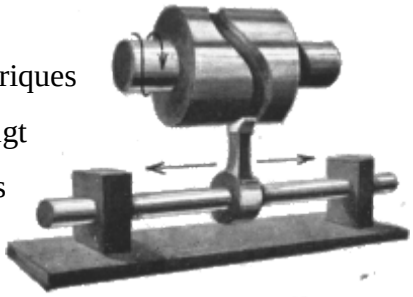


*Figure 38: Came tambour*

Came rectiligne :

On désigne sous ce nom un ensemble très varié de cames dont le mouvement moteur est une translation permettant d'obtenir un mouvement attendu d'un poussoir ou d'un levier.

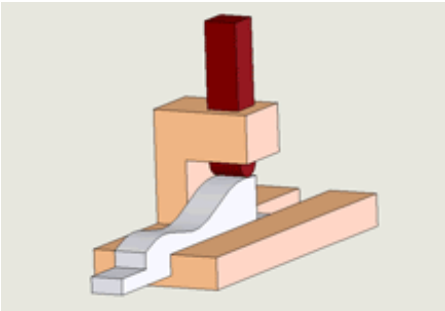


*Figure 39: Came rectiligne*

❖ Levier

Le levier est une machine simple. Il permet de changer l'intensité de la force qu'on doit exercer pour déplacer un objet. Le levier est fait d'une tige mobile autour d'un point fixe. Ce point fixe, appelé point d'appui, supporte le levier. Le point d'appui est le pivot du levier. La force qu'on doit exercer sur le levier pour le faire bouger s'appelle effort ou force. Ce terme désigne la force exercée sur une machine afin de produire une action. La charge est la masse de l'objet déplacé ou soulevé par un levier ou une autre machine. La charge est la résistance au mouvement que la machine doit vaincre. La distance entre le point d'appui et l'effort s'appelle bras de levier. La distance entre le point d'appui et la charge s'appelle bras de charge.

Il existe 3 genres de levier. Le genre auquel un levier appartient dépend de l'emplacement de l'effort, de la charge et du point d'appui.

Le point d'appui d'un levier de premier genre (inter-appui) se situe entre l'effort et la charge. Ce genre de levier sert dans les travaux qui demandent de la force ou de la précision.

Un levier du deuxième genre (inter-résistant) exerce toujours sur la charge une force plus grande que l'effort qu'on fournit. La charge de ce type de levier se situe entre l'effort et le point d'appui.

La force d'un levier du troisième genre (inter-moteur) s'exerce entre le point d'appui et la charge. Avec un levier du troisième genre, on doit exercer sur le levier une force plus grande que celle que le levier exerce sur la charge. Toutefois, on peut déplacer la charge très rapidement.

*Figure 40: Illustration du mécanisme d'un levier*

3) Concepts générés :

Maintenant les éléments de la matrice morphologique sont établis, il suffit de combiner les concepts de chaque fonction pour obtenir des combinaisons des concepts qui doivent passer par des méthodes de sélection/prise de décision. Ces méthodes donnent comme résultat un concept final.

Les concepts qu'on peut dégager de la matrice morphologique précédente :

a) Concept 1 :

Ce concept s'agit d'un calibre à limites : Puisqu'on veut rendre le contrôle souple et facile, le fait d'utiliser des calibres (maxi, mini) pour chaque piston permet de réaliser les objectifs déjà soulignés (contrôle souple et facile).

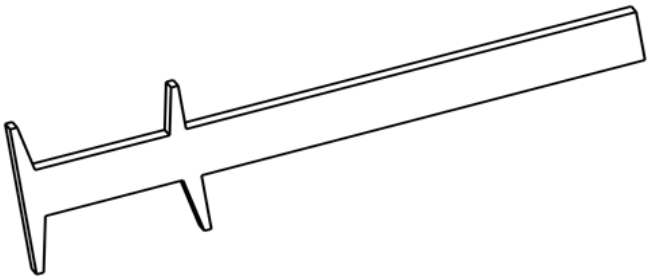


*Figure 41: Concept basé sur calibre à limite*

Les calibres représentes les cotes maximales et minimales des gorges, ils se composent de deux faces : une qui représente la cote maximale et l'autre la cote minimale. Le contrôle se fait par le principe ENTRE/N'ENTRE PAS (GO/NO GO en anglais)

Ce contrôle ne donne pas de renseignement sur la valeur de la grandeur. En revanche, il renseigne sur le fait que la grandeur mesurée est dans la tolérance spécifiée et nécessaire pour assurer le fonctionnement d'un ensemble mécanique. C'est donc en principe un contrôle de fabrication ou même de réception mais ce n'est pas une mesure. Les calibres à limite ne sont pas des appareils mesureurs (comme un pied à coulisse par exemple). Son avantage réside dans la simplicité et la rapidité du contrôle. Elle permet un tri des pièces mais elle ne permettra pas de faire un diagnostic sur une éventuelle non-conformité. La grandeur mesurée est dite dans la tolérance si :

Le calibre ENTRE (GO) n'interfère pas avec la grandeur, c'est-à-dire pénètre.

Le calibre N'ENTRE PAS (NO GO) interfère avec la grandeur, c'est-à-dire ne pénètre pas.

Inconvénient :

-chaque modèle de piston doit avoir un calibre destiné pour lui : en effet, il existe plusieurs modèles de pistons et chaque modèle possède des différents diamètres.

Il faut une grande gamme des calibres dédié pour chaque type/modèle des pistons

Comme résultat, l'utilisation des calibres peut être efficace dans le cas d'un travail de petite série des produits uniformes. Dans le cas d'un nouveau produit, il est nécessaire de concevoir un calibre destine pour ce nouveau produit en plus sa fabrication.

La solution n'est pratique que dans le cas d'une production en série.

| Fonctions | Concept adopté |
|---|---|
| F1 | Utilisation des calibres GO/NO GO. |
| F4 | - |
| F6 | - |
| F9 | La fixation sur les gorges se fait par des dents. |
| F15 | - |
| F16 | - |
| F20 | - |
| F23 | - |

*Tableau 16 : Les sous-concepts adoptés pour concept 1*

b) Concept 2 : Concept à came rectiligne

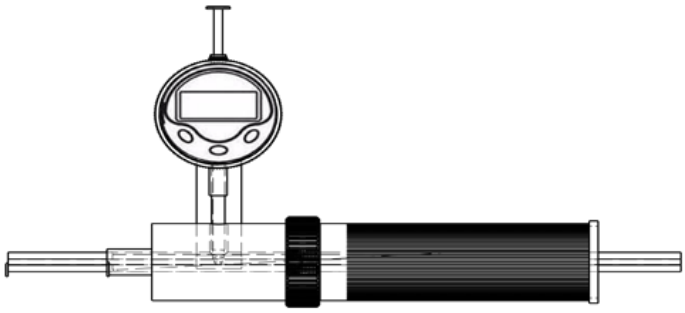


*Figure 43: Concept basé sur came rectiligne 1*

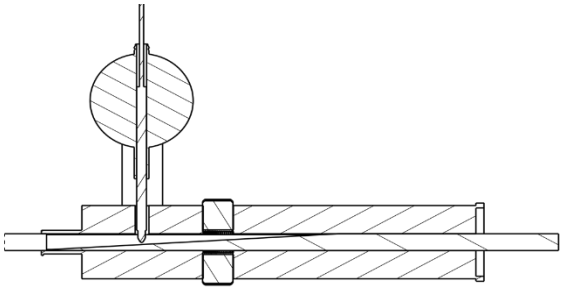


*Figure 42: Concept basé sur came rectiligne (coupe)*

Il s'agit d'un outil à base d'une came rectiligne qui permet de transformer la translation horizontale d'outil en une translation verticale de la tige du comparateur (crémaillère). Sa course est de 150mm (0~150mm). En effet, ce dispositif ne donne pas la valeur de la distance mesurée d'une manière directe, mais en réalité, il donne un résultat (distance h) qui a une relation avec la distance désirée (distance L).

$$\tan\alpha = \frac{h}{L} \leftrightarrow L = \frac{h}{\tan\alpha}$$

Dont, l'angle $\alpha$ est l'inclinaison de la came rectiligne et h le résultat obtenu par le comparateur.

| Fonctions | Concept adopté |
|---|---|
| F1 | Mesure de l'intérieur. |
| F4 | Manipulation par molette. |
| F6 | Mécanisme à came. |
| F9 | La fixation sur les gorges par des disques. |
| F15 | - |
| F16 | Visualisation numérique des résultats. |
| F20 | Indexation numérique. |
| F23 | - |

*Tableau 17 : Les sous-concepts adoptés pour concept 2*

c) Concept 3 : Concept à came rectiligne 2

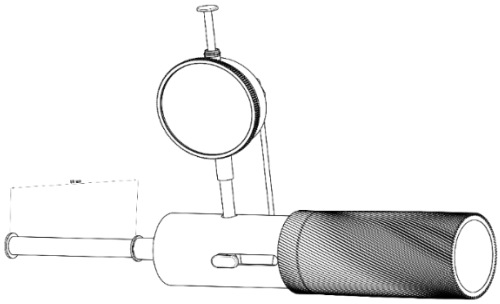


*Figure 45: Concept basé sur came rectiligne 2*

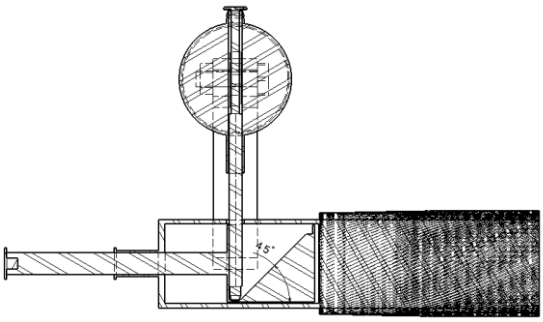


*Figure 44: Concept basé sur came rectiligne 2 (coupe)*

Comme dans le concept précèdent, ce concept lui aussi est basé sur une came rectiligne dont sa course est de 30mm (50mm~80mm) avec la possibilité d'ajouter des pièces de longueur de 30mm pour l'étendre. En plus, l'outil est équipé d'un comparateur de capacité de 30mm.

L'angle de dépouille est de 45° qui va permettre d'avoir la distance mesurée sans la nécessité de passer par des calculs comme dans le concept 2.

Le principe d'utilisation de ce concept est la catégorisation des pistons selon leurs diamètres :

| Catégorie | Intervalle du diamètre (du piston) | Nombre d'extensions |
|---|---|---|
| A | 50mm~80mm | 0 |
| B | 80mm~110mm | 1 |
| C | 110mm~140mm | 2 |
| D | 140mm~170mm | 3 |

*Tableau 18 : Catégorisation des pistons pour concept 3*

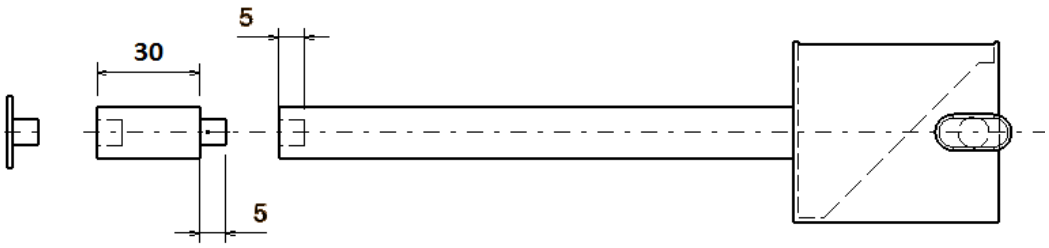



*Figure 46: Montage des extensions*

Remarque :

La lecture se fait de la manière suivante :

Supposant qu'on est en train de mesurer la distance entre les gorges du trou d'axe d'un piston de catégorie A, la valeur affichée sur le comparateur est 12mm, donc la valeur de la distance mesurée est :

$$D = X + Valeur\ Affichée$$

Dont,

| Catégorie | Valeur de X |
|---|---|
| A | 50 |
| B | 80 |
| C | 110 |
| D | 140 |

Le résultat de la mesure est :

D = 50 + 12 = 62mm

La présentation du concept est mentionnée ci-dessous :

| Fonctions | Concept adopté |
|---|---|
| F1 | Mesure de l'intérieur. |
| F4 | Manipulation par poussoir glissant. |
| F6 | Mécanisme à came. |
| F9 | La fixation sur les gorges par des disques. |
| F15 | - |
| F16 | Visualisation des résultats sur cadran. |
| F20 | Indexation sur cadran. |
| F23 | Fixation des pièces démontable par filetage |

*Tableau 19 : Les sous-concepts adoptés pour concept 3*

d) Concept 4 :

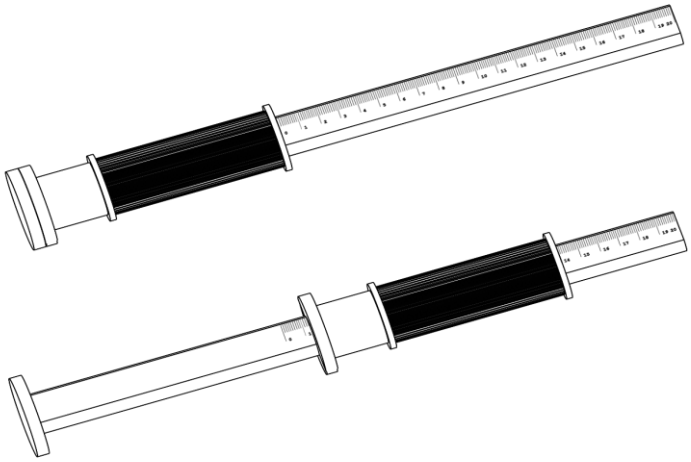


*Figure 47: Concept basé sur une règle*

Ce concept est inspiré du pied à coulisse dont la différence entre ce concept est le pied à coulisse usuel est la forme des becs. Équipé des becs sous forme des disques qui permet la fixation au niveau des gorges et la lecture se fait à partir de la règle graduée.

| Fonctions | Concept adopté |
|---|---|
| F1 | Mesure de l'intérieur. |
| F4 | - |
| F6 | Mécanisme à glissière. |
| F9 | La fixation sur les gorges par des disques. |
| F15 | - |
| F16 | Visualisation des résultats sur une règle. |
| F20 | Indexation sur règle. |
| F23 | - |

*Tableau 20 : Les sous-concepts adoptés pour concept 4*

e) Concept 5 : Concept à levier

Basé sur un levier inter-appui, ce mécanisme permet de transformer la rotation du levier en translation des deux glissières : une qui se positionne au niveau des gorges du trou d'axe et l'autre agit sur le comparateur.

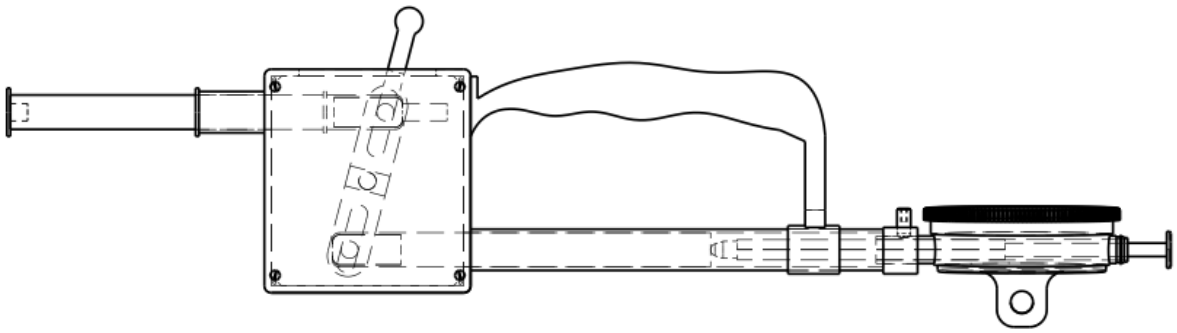


*Figure 48: Concept basé sur un levier inter-appuie*

Sa course est de 20mm avec la possibilité d'ajouter des extensions de 20mm de longueur comme dans le cas du concept 3.

On peut catégoriser les pistons en fonction des extensions (pièces à ajouter) de la manière suivante :

| Catégorie | Intervalle du diamètre (du piston) | Nombre d'extensions |
|---|---|---|
| A | 50mm~70mm | 0 |
| B | 70mm~90mm | 1 |
| C | 90mm~110mm | 2 |
| D | 110mm~130mm | 3 |
| E | 130mm~150mm | 4 |

*Tableau 21 : Catégorisation des pistons pour concept 5*

Remarque :

La lecture des résultats se fait de la même manière que le concept 3, sauf que la valeur de X cette fois-ci change en fonction de la catégorie :

| Catégorie | Valeur de X |
|---|---|
| A | 50 |
| B | 70 |
| C | 90 |
| D | 110 |
| E | 130 |

Le tableau suivant présente les sous-concepts du cinquième concept :

| Fonctions | Concept adopté |
|---|---|
| F1 | Mesure de l'intérieur. |
| F4 | - |
| F6 | Mécanisme à levier. |
| F9 | La fixation sur les gorges par des disques. |
| F15 | Remise à l'état initiale par un ressort |
| F16 | Visualisation des résultats sur un cadran. |
| F20 | Indexation sur cadran. |
| F23 | Fixation des pièces démontable par filetage. |

*Tableau 22 : Les sous-concepts adoptés pour concept 5*

## II. Choix de concepts :

### 1) Méthode de Pugh :

#### a) Présentation de la méthode :

La matrice de Pugh est un type de Diagramme Matricielle qui permet de comparer un certain nombre de candidats de conception menant finalement concept qui répond le mieux à un ensemble de critères. Cette méthode permet également un degré d'optimisation qualitative aux concepts alternatifs grâce à la génération de candidats hybrides.

Le Méthode de Pugh est facile à utiliser et repose sur une série de comparaisons par paires entre candidats de conception par rapport à un certain nombre de critères ou exigences. L'un de ses principaux avantages par rapport à d'autres outils de prise de décision tels que la Matrice de décision est sa capacité à gérer un grand nombre de critères de décision.

#### b) Utilisation de la méthode

De nombreuses décisions concernent souvent un certain nombre de facteurs ou de critères entrelacés pour lesquels les humains luttent pour gérer la complexité, ce qui entraîne des décisions irrégulières et incohérentes. Pugh Matrix fournit une approche simple pour tenir compte de ces facteurs multiples lors de la prise de décision. En exploitant la capacité innée des gens de faire une comparaison par paire, les opinions subjectives sur une alternative par rapport à l'autre doivent être plus objectives.

La matrice de pugh permet également d'effectuer une analyse de sensibilité simple, fournissant ainsi des informations sur la robustesse d'une décision particulière.

c) Processus de la méthode :

Le processus de construction d'une matrice de Pugh comprend cinq étapes. Cela suppose que des options de conception alternatives (ou des options de décision) ont été déterminées. (Voir Annexe 4)

2) Application de la méthode :

a) Choix de la référence :

Puisque l'entreprise possède déjà un outil qui peut réaliser ce type des mesures (mesures des gorges du trou d'axe), il fallait bien de comparer les solutions et les concepts obtenues par rapport à ce concept.

*Figure 49: Solution actuelle*

b) Choix des critères :

Les critères du choix parviennent du Cahier de Charges Fonctionnel dont on choisit les critères critiques. Parmi ces critères on peut citer :

| | |
|---|---|
| Critères de comparaison | Complexité de forme. |
| | Rapidité de lecture. |
| | Effort appliqué pour la manipulation. |
| | Précision. |
| | Mesure et interprétation. |

*Tableau 23 : Critères de comparaisons*

c) Application :

| Concepts / Critères | 1 | 2 | 3 | Datum | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Complexité de forme. | + | - | - | | + | - |
| Rapidité de lecture. | - | - | + | | - | + |
| Effort appliqué pour la manipulation. | + | - | = | | = | + |
| Précision. | - | - | + | | - | + |
| Mesure et interprétation. | + | - | + | | = | + |
| Somme des + | 2 | 0 | 3 | | 1 | 4 |
| Somme des - | 2 | 5 | 1 | | 2 | 1 |
| Somme des = | 0 | 0 | 1 | | 2 | 0 |
| Résultat | 1 | -5 | 2 | | -1 | 3 |

*Tableau 24 : Matrice de Pugh*

Datum= Référence.

Conclusion :

La méthode de Pugh nous a permis de conclure que le concept le plus adaptable pour réaliser les fonctions déjà établi pendant le chapitre précèdent est le concept 5 (Concept basé sur un levier inter-appuie).

3) Présentation de la solution adoptée :

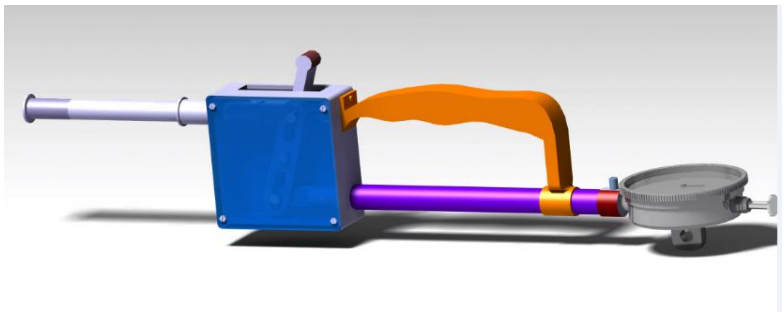


*Figure 50: présentation de la solution proposée*

a) Présentation d'outil :

i. Définition

Il s'agit d'un système à base d'un levier inter-appuie qui permet de transformer la rotation du levier en translation des deux glissières. La translation résultante de la rotation agit sur la glissière attachée au comparateur qui permet d'enlever la valeur de la distance parcourue par la glissière qui est, en même temps, la distance entre les gorges du trou d'axe.

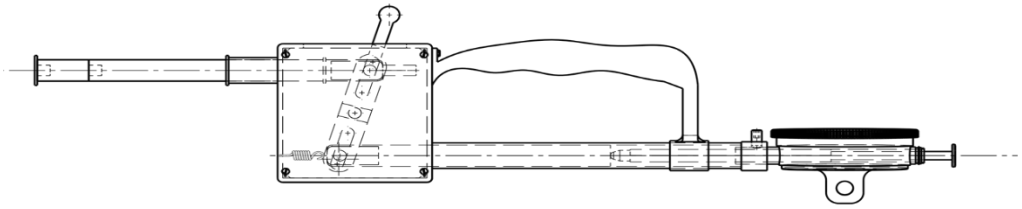


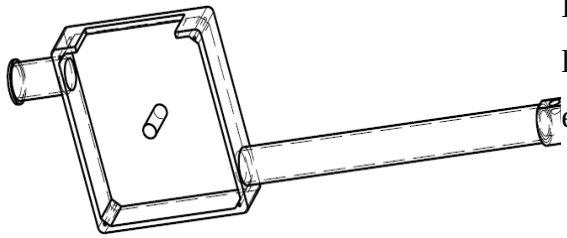
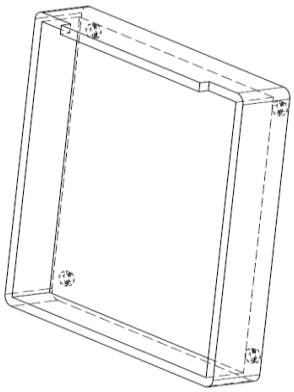
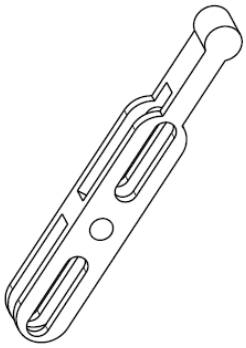
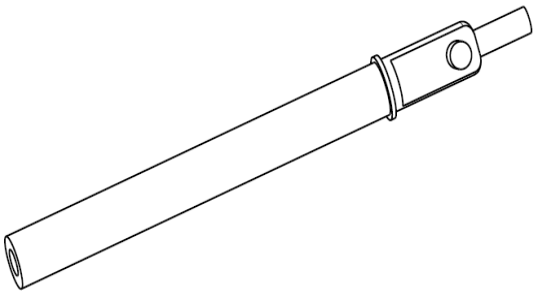
*Figure 51: dessin d'assemblage de la solution proposée*

ii. La course du dispositif :

Ce concept a une course de 20mm pour une rotation de 53,12° du levier et son état initiale (zéro) à 50mm puisque la gamme des diamètres inclut les pistons allant de 58mm jusqu'à 145mm.

b) Les composants du système :

Le système se compose de 9 pièces principales :

| Composants | Présentation | Description |
|---|---|---|
| Bâti |  | Le bâti contient et permet la liaison entre tous les éléments du système |
| Cache bâti |  | |
| Levier |  | Relie les deux glissières en plus sa rotation donne comme résultats la translation des glissières. |
| Glissière 1 |  | La glissière qui permet le positionnement au niveau des gorges à l'aide d'un bec et des extensions. |

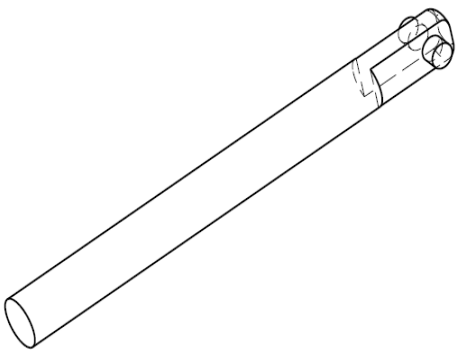
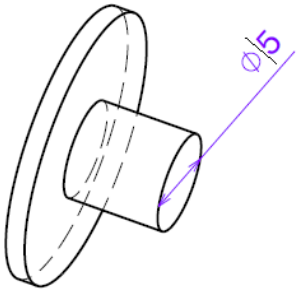
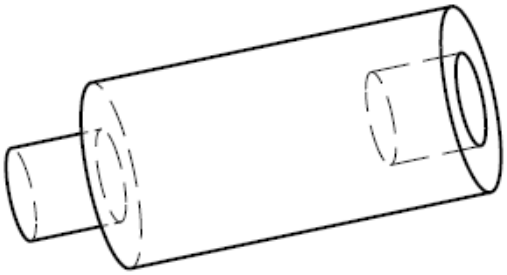
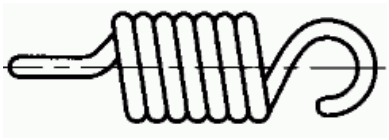
| | | |
|---|---|---|
| Glissière 2 |  | La glissière qui agit sur le comparateur. |
| Bec |  | Assure le positionnement sur les gorges. Il est monté sur la glissière 1. |
| Comparateur | | Le comparateur utilisé pour ce concept est comparateur mécanique de capacité de 20mm-série2 équipé d'un cadran de diamètre 57mm. |
| Extension |  | Ces pièces permettent d'étendre la longueur de la glissière 1 pour avoir la possibilité de réaliser les mesures sur les différentes catégories des pistons |
| Ressort |  | Permet la remise à l'état initial d'une part, d'autre part il permet aussi la bonne fixation des becs au niveau des gorges grâce à la sa force de rappel |

*Tableau 25 : Les composants du concept choisi*

Remarque :

Les dimensionnements des composants de ce système sont présentées à l'annexe.

Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de choisir un concept qui semble convenable pour réaliser les fonctions déjà établies pendant les chapitres précédentes. Ce choix est un résultat d'une série d'étapes allant de la génération jusqu'au choix du concept.

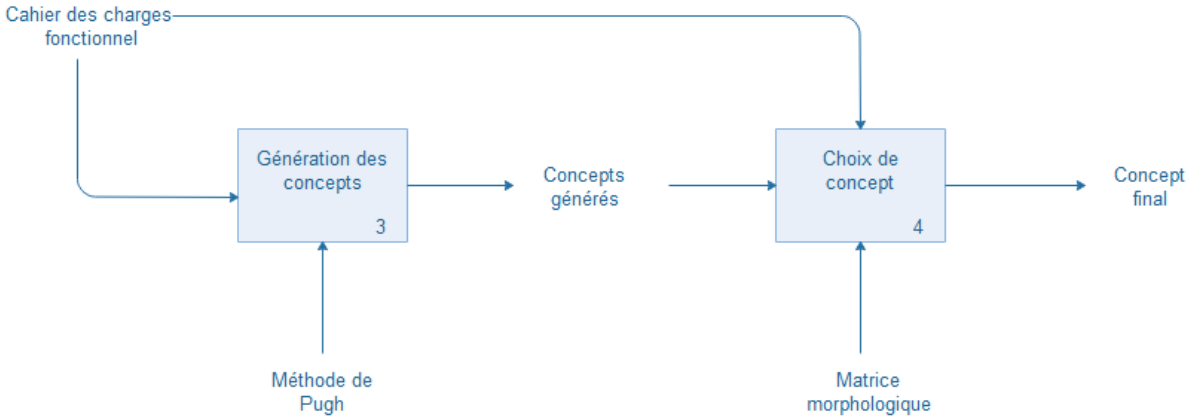



*Figure 52: Schéma IDEF0 du chapitre*

# Conclusion Générale et perspectives

Dans une entreprise manufacturière, le produit est réalisé par un système physique de production pour répondre aux besoins du client. Cette réalisation est pilotée par un système de décision qui contrôle l'ensemble des activités dès la conception jusqu'à la production du produit.

Nous rappelons que notre stage au sein de **Société Marocaine des Fonderies du Nord (Floquet Monopole)** est un stage de fin d'étude dont l'objectif est de déployer la démarche du processus de développement de produit afin de répondre à la problématique exprimée par la question suivante :
« Comment peut-on développer un outil qui permet de réaliser les mesures sur les gorges du trou d'axe des piston ? »

Pour répondre à cette question, notre étude a été traitée de la manière suivante :

Pendant la première étape, nous avons pu choisir le processus de développement de produit qui semble convenable avec la nature du sujet proposé. Puis, nous avons mis le doigt sur la présentation et la décomposition de la problématique par la méthode ISHIKAWA pour une meilleure compréhension de la problématique. Ceci a résulté l'établissement du cadre générale du projet.

La deuxième étape était de définir le projet, pour cela nous avons employé la méthode bête à corne pour souligner le but de notre projet, Ensuite, nous avons pu définir les différents acteurs du sujet par la 3Q+OCP. Ces deux sous-étapes ont permis d'obtenir une idée claire sur le projet.

La troisième étape concerne l'analyse fonctionnelle dont on a pu dégager les fonctionnalités du système à concevoir par l'application de la méthode RESEAU, cette méthode nous a permis d'enlever 25 fonctions que notre système doit posséder, ces fonctions ont été caractérisé selon leur types. Après l'obtention et la caractérisation des fonctions, nous avons terminé l'analyse fonctionnelle par établir le cahier des charges fonctionnel qui permet de transformer des fonctions en des valeurs mesurables pour permettre l'étape suivante qui concerne la génération des concepts.

La quatrième étape s'agit de la génération des concepts, pour cette raison nous avons utilisé la matrice morphologique. Le résultat de cette méthode est la génération de 5 concepts, ces concepts ont passé par une série de comparaisons selon la méthode de Pugh pour obtenir le concept le plus convenable qui était le concept à base d'un levier inter-appuie. Pour terminer cette étape nous avons procédé à réaliser une conception détailler du concept choisi.

Cette étude est le point de départ pour des autres études d'améliorations du concept, établissement des gammes de fabrication pour transformer l'étude en réalité, choix du matériau de fabrication, étude du coût de la fabrication pour aboutir à établir une étude des coûts globale pour ce projet.

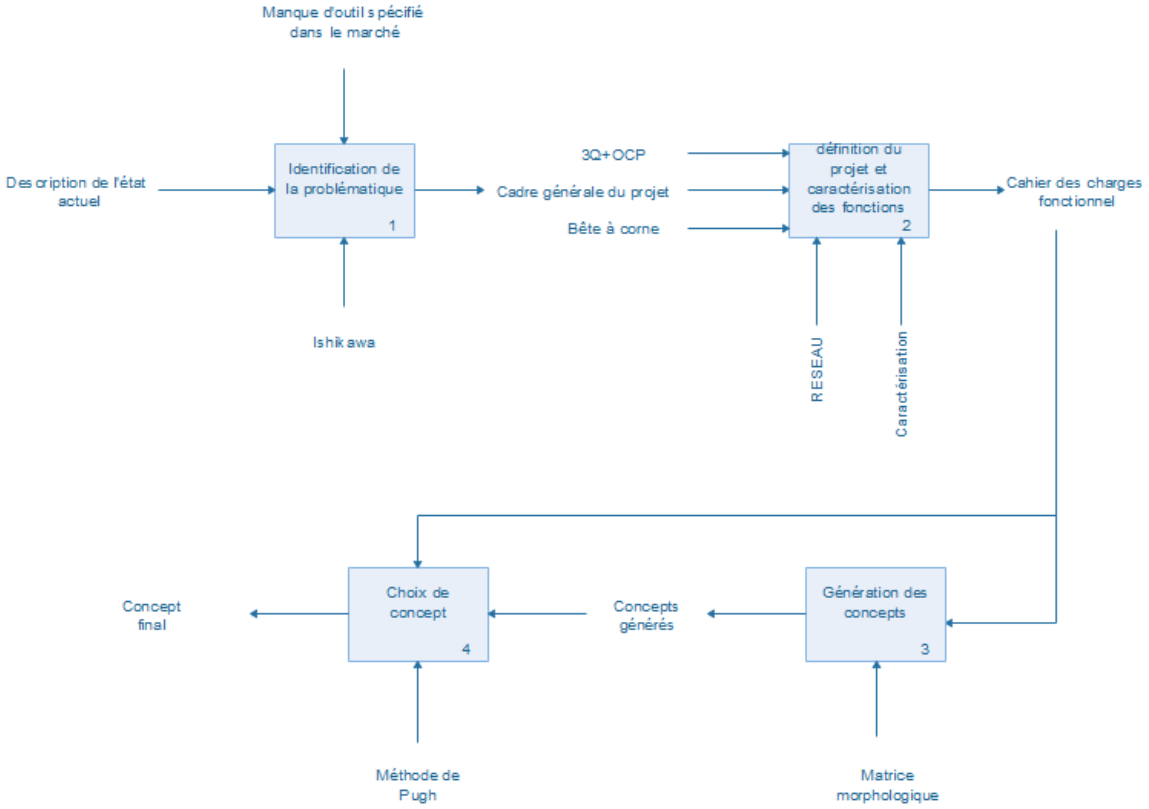



*Figure 53:Schéma IDEF0 du projet*

# BIBLIOGRAPHIE

*Karl T. Ulrich & Steven D. Eppinger "PRODUCT DESIGN AND DEVELOPMENT, FIFTH EDITION*" Published by McGraw Hill, New York, 2012

*Robert Tassinari « PRATIQUE DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE »* Publié par Dunod;1997

*Stuart Pugh, "Total Design – Integrated Methods for Successful Product Engineering",* Addison-Wesley Publishing Company, Harlow, UK, 1991.

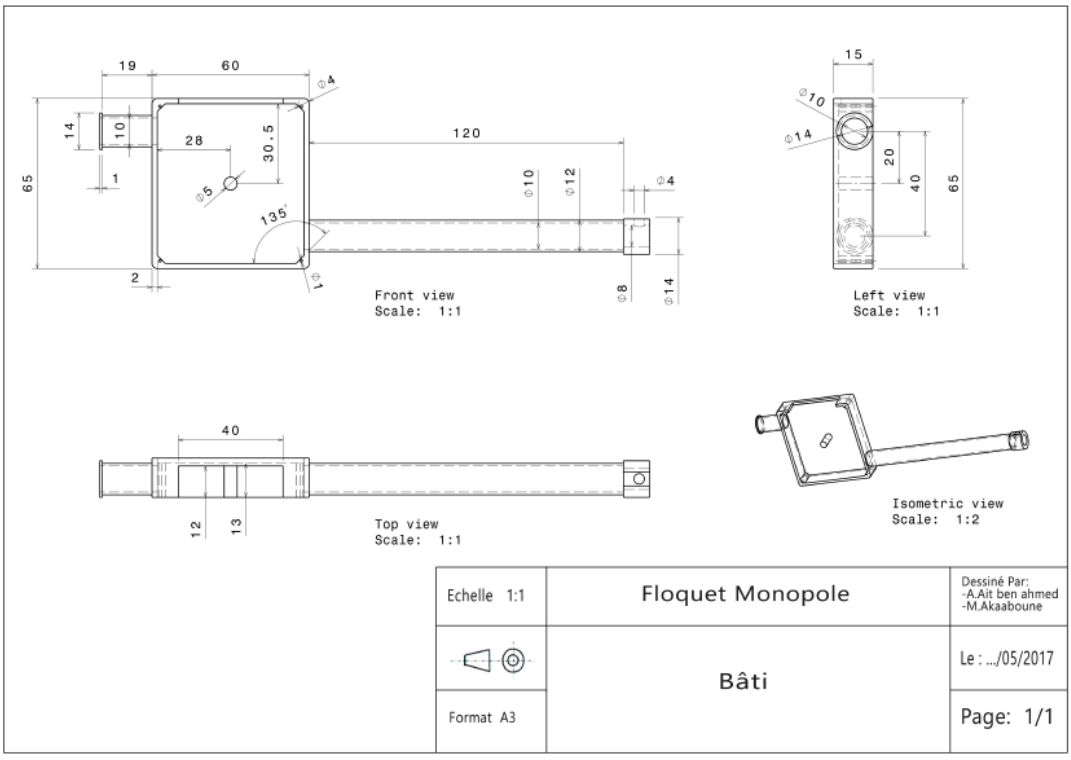
*Isaksen, S. G., Dorval, K. B., & Treffinger, D. J. "Toolbox for creative problem solving: Basic tools and resources".* Williamsville, NY, 1998

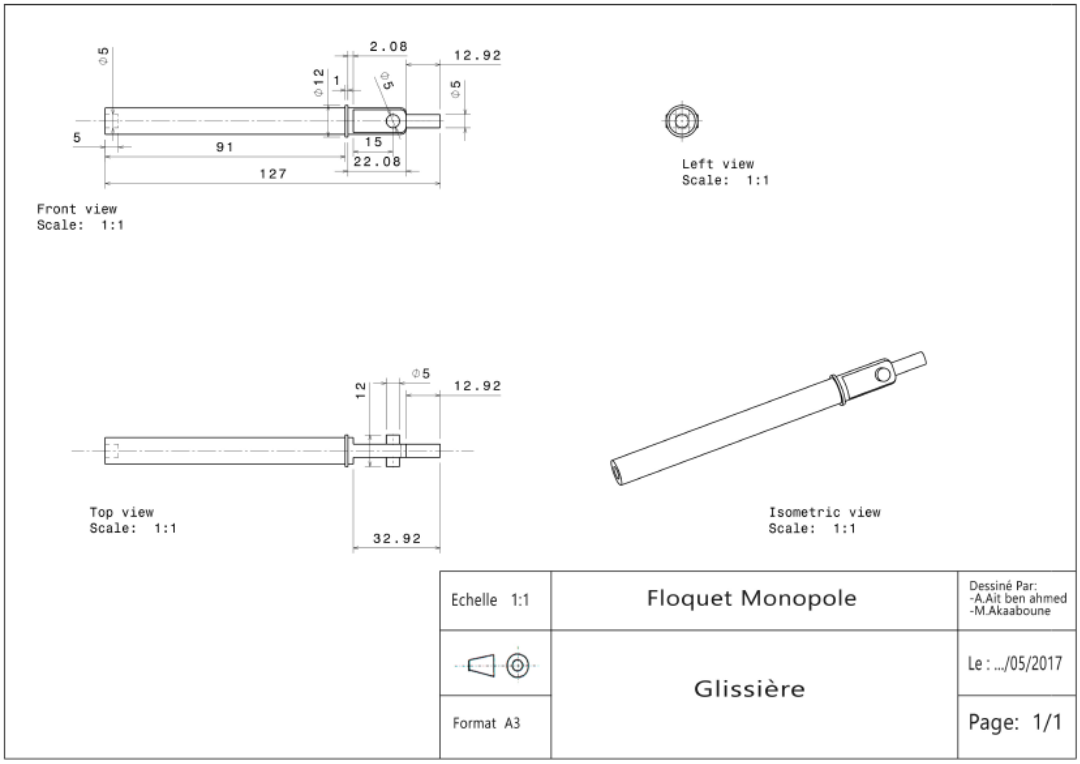
*CATALOGUE GENERAL MITUTOYO F20001 2015 – 2017*

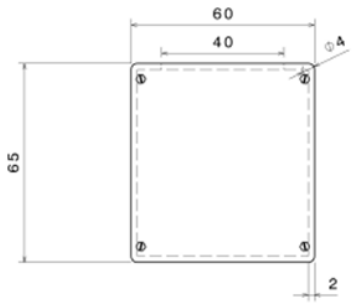
*MITUTOYO : « Guide pratique des instruments de mesure de précision » édition française*

# Annexe 1 : Dimensionnement des composants Du système choisi

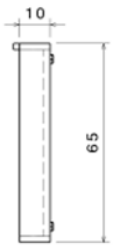
Nous présentons les dimensionnements des différents composants du système à base d'un levier inter-appuie.



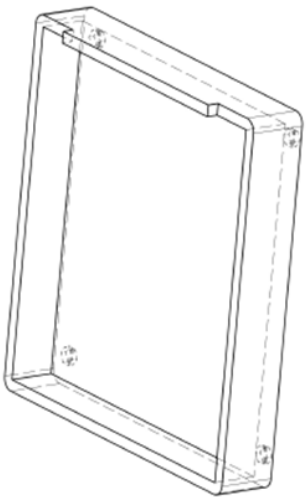






Front view
Scale: 1:1



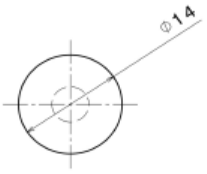

Left view
Scale: 1:1



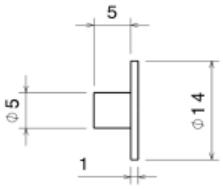
Isometric view
Scale: 2:1

Top view
Scale: 1:1

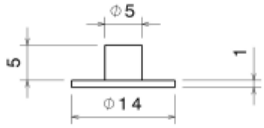
| | | |
|---|---|---|
| Echelle 2:1 | Floquet Monopole | Dessiné Par: -A.Ait ben ahmed -M.Akaaboune |
| | Cache Bâti | Le : .../05/2017 |
| Format A3 | | Page: 1/1 |



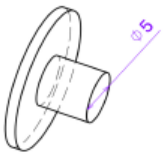

Front view
Scale: 2:1




Left view
Scale: 2:1




Top view
Scale: 2:1

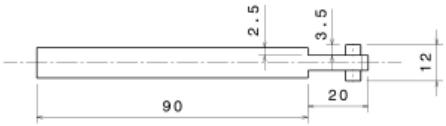



Isometric view
Scale: 3:1

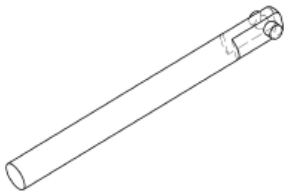
| | | |
|---|---|---|
| Echelle 2:1 | Floquet Monopole | Dessiné Par: -A.Ait ben ahmed -M.Akaaboune |
| | Bec | Le : .../05/2017 |
| Format A3 | | Page: 1/1 |

Front view
Scale: 1:1

Left view
Scale: 1:1

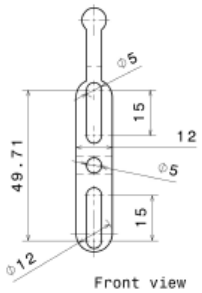



Top view
Scale: 1:1



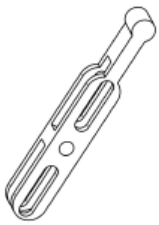
Isometric view
Scale: 1:1

| | | |
|---|---|---|
| Echelle 1:1 | Floquet Monopole | Dessiné Par: -A.Ait ben ahmed -M.Akaaboune |
| | Glissière_Compa | Le : .../05/2017 |
| Format A3 | | Page: 1/1 |



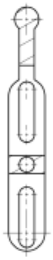

Front view
Scale: 1:1

Left view
Scale: 1:1



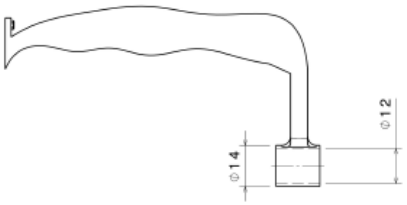
Isometric view
Scale: 1:1

Top view
Scale: 1:1



Section view A-A
Scale: 1:1

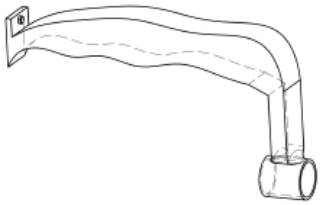
| | | |
|---|---|---|
| Echelle 1:1 | Floquet Monopole | Dessiné Par: -A.Ait ben ahmed -M.Akaaboune |
| | Levier | Le : .../05/2017 |
| Format A3 | | Page: 1/1 |




Front view
Scale: 1:1

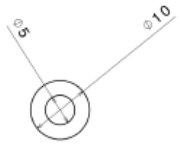
Left view
Scale: 1:1

Top view
Scale: 1:1

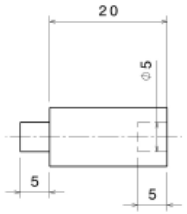


Isometric view
Scale: 1:1

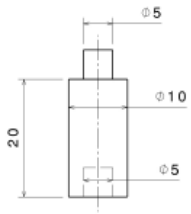
| | | |
|---|---|---|
| Echelle 2:1 | Floquet Monopole | Dessiné Par: -A.Ait ben ahmed -M.Akaaboune |
| | Poigné | Le : .../05/2017 |
| Format A3 | | Page: 1/1 |



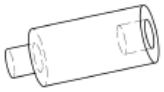

Front view
Scale: 2:1




Left view
Scale: 2:1




Top view
Scale: 2:1



Isometric view
Scale: 2:1

| | | |
|---|---|---|
| Echelle 2:1 | Floquet Monopole | Dessiné Par: -A.Ait ben ahmed -M.Akaaboune |
| | Extension | Le : .../05/2017 |
| Format A3 | | Page: 1/1 |

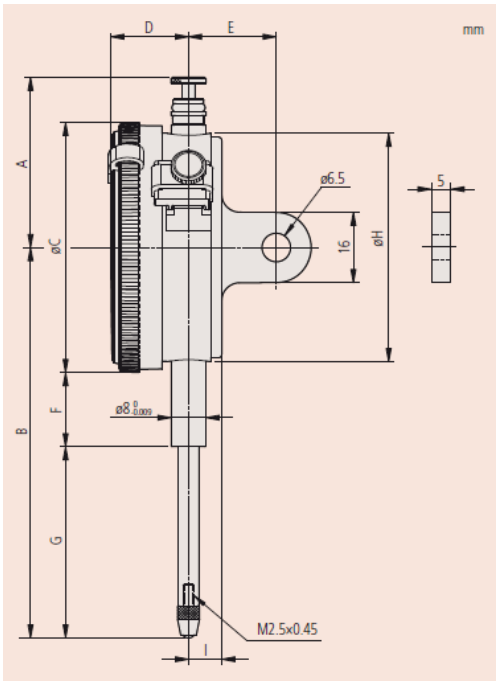
# Annexe 2 : Le comparateur choisi

<u>Présentation du comparateur :</u>

Comparateur mécanique de capacité 20 mm -Série 2

• Type standard

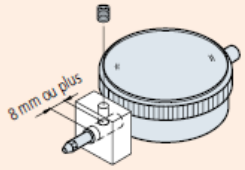
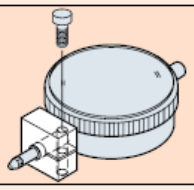
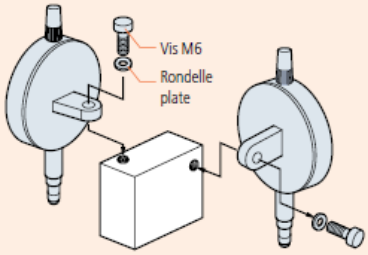
• Cadran ø 57 mm, graduation 0,01 mm




| Réf. | A [mm] | B [mm] | C [mm] | D [mm] | F [mm] | E [mm] | H [mm] | G [mm] | I [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2050SB | 38,8 | 75,2 | 57 | 17,7 | 16,9 | 20 | 52 | 29,8 | 7,6 |

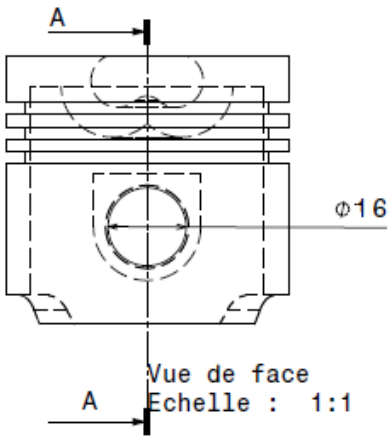
| Capacité [mm] | 1 tour de cadran | Force de mesure [N] | Lecture | Echelle | Poids patte/plat[g] | Prix €.H.T |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 1mm | 0,4 - 2 | 0,01mm | 0 – 100 (100 – 0) | 149/140 | 85,00 |

Montage du comparateur :

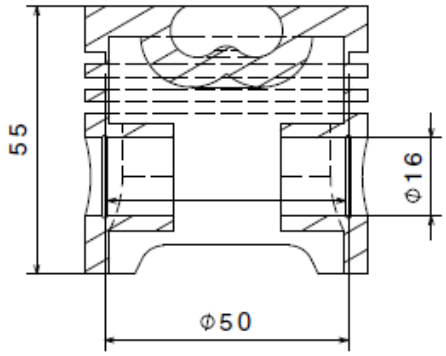
| Méthode | Exemple | Remarque |
|---|---|---|
| Fixation directe du canon avec une vis |  | ▪ Tolérance de l'alésage : ø8G7 (+0,005 à 0,02)<br>▪ Vis de fixation : M4 à M6µ<br>▪ Position : 8 mm minimum du bord inférieur du canon<br>▪ Couple de serrage maximum : 150N/cm pour une vis de fixation M5<br>▪ Un couple de serrage excessif peut altérer le mouvement de la broche. |
| Fixation du canon dans une noix de serrage |  | ▪ Tolérance de l'alésage : ø8G7 (+0,005 à 0,02) |
| Avec la patte de fixation |  | ▪ La patte de fixation peut pivoter de 90° en fonction de l'application. (La patte est placée à la verticale lors de la production.)<br>▪ La patte de certains modèles de la série 1 (N° 1911, 1913-10&1003), ne peut pas pivoter à l'horizontale.<br>▪ Pour éviter toute erreur due à un effet cosinus, vérifiez que la broche du comparateur est correctement alignée dans la direction souhaitée. |

# Annexe 3 : Dimensionnement du piston de diamètre 58mm

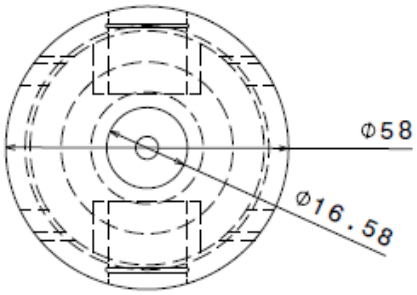
Ce piston est considéré le plus petit piston que l'entreprise produit. Les dimensionnements de notre outil doivent tenir en compte les dimensions de ce piston pour avoir un outil valable pour tous les diamètres.




Vue de face
Echelle : 1:1




Coupe A-A
Echelle : 1:1




Vue de dessus
Echelle : 1:1

| | | |
|---|---|---|
| Echelle 1:1 | Floquet Monopole | Dessiné Par: -A.Ait ben ahmed -M.Akaaboune |
| | Piston 58mm | Le : .../05/2017 |
| Format A3 | | Page: 1/1 |

# Annexe 4 : Les étapes de construction de la matrice de PUGH

Étape 1 : On identifie et défini clairement les critères de sélection. Généralement, lorsqu'on utilise la matrice de Pugh pour sélectionner entre un certain nombre d'options de conception de candidat, les exigences de conception peuvent être utilisées en tout ou en partie. Idéalement, les exigences de conception devraient refléter à la fois le client-utilisateur ainsi que d'autres parties prenantes clés, y compris les parties prenantes internes. La robustesse et la validité du résultat dépendent fondamentalement d'un ensemble approprié de critères / exigences. Le fait de se heurter à cette étape entraîne habituellement un résultat non résistant contesté et renversé.

Étape 2 : Il faut utiliser un concept candidat comme base de référence et de base de tous les critères / exigences en tant que « S » (Certaines personnes préfèrent utiliser un O ou =) pour cette colonne de base. Le cas échéant, un bon choix consiste à utiliser la conception précédente pour la ligne de base car elle existe et, par conséquent, sa performance devrait être raisonnablement bien connue.
Étape 3 : comparaison de chaque option de conception candidate contre la conception de base, les critères selon les critères (ou l'exigence selon l'exigence) et décidez d'un « score par paire avec :
S (ou bien =) : même (ou égaux) ;
(+) : mieux ;
(-) : mauvais ;
Il est possible d'utiliser des niveaux de discrimination de plus tels que :
(++) : Plus mieux ;
(--) : plus mauvais ;

Il est possible d'utiliser une échelle de 1 à 5 où la ligne de base / même est un 3, 1 et 2 étant plus mauvais et mauvais respectivement, et 4 et 5 étant mieux et plus mieux respectivement.

Étape 4 : Pour chaque option des conceptions candidates, le score total peut être calculé en additionnant le nombre de (+), (S) et (-). Le score le mieux classé est le «gagnant» mais dans le cas où on utilise le bon sens, suffit de sélectionner le concept classé «le plus élevé».

Étape 5 : Après avoir marqué chaque option de conception candidate, considérez les hybrides en combinant le mieux possible avec chaque alternative. C'est une forme d'optimisation qualitative.

Étape 6 : On prend la décision et enregistre les raisons derrière les décisions.

Très souvent, avec la Matrice de Pugh, il n'y a pas d'un «gagnant» clair, mais il y a souvent un «perdant» clair dans de tels cas, effectuer une vérification de la sérénité (la décision a-t-elle un sens) et supprimer l'option perdue. À ce stade, les critères / exigences peuvent être mis en valeur pour donner une meilleure différenciation. Typiquement, la pondération est sur une échelle de 1 à 5 avec 1 le plus bas et 5 la pondération la plus élevée. S'il n'y a toujours pas de gagnant clair, la matrice dit essentiellement qu'il n'y a pas assez d'informations pour discriminer les options. Dans de tels cas, il faudra :

- Affiner les critères / exigences
- Utiliser une autre option de sélection
- Effectuer plus de travail pour obtenir l'information pour pouvoir choisir entre les options. Il est également recommandé à ce stade

Entreprendre une analyse de sensibilité.

Cela peut être effectué de plusieurs façons qui comprennent :

- Fléchir le nombre d'importance par ± 1 et surveiller le classement des candidats
- supprimer des critères / exigences de l'évaluation et le suivi du classement des candidats.