



## MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

*Pour l'Obtention du*

**Diplôme de Master Sciences et Techniques**  
**Spécialité : Génie Mécanique et Productique**

*Conception et dimensionnement d'un système de graphitage des pistons  
de moteurs*

*Présenté par :*

*Sid'Elemine El Hadrami*

*Encadré par :*

- **A. El Hakimi**, Professeur département Génie Mécanique, FST Fès
- **Rached Hassane**, Encadrant de la Société Marocaine des Fonderies du Nord

*Effectué à : La Société Marocaine des Fonderies du Nord*

*Soutenu le : 16-06-2016*

**Le jury :**

- **Mr. A. El Hakimi**, FST Fès
- **Mr. A. Seddouki**, FST Fès
- **Mr. M. El Majdoubi**, FST Fès

**Année Universitaire : 2015-2016**

## Sommaire

Remerciement.....	3
Introduction générale.....	4
Chapitre 1 : Présentation de l'organisme d'accueil, la SMFN .....	5
1-1 : Généralités sur la SMFN .....	6
1-2 : Fiche de présentation.....	7
1-3 : Organisation de la SMFN.....	8
1-4 : Produit fabriqué (le piston).....	12
Chapitre 2 : Présentation du projet .....	21
2-1: Introduction .....	22
2-2: Nature .....	22
2-3: Problématique.....	22
2-4 : Objectifs .....	23
2-5 : Contraintes à respecter .....	23
2-6 : Critères d'évaluation.....	24
2-7 : Rappel sur les pistons .....	24
2-8 : Organisation du projet.....	25
Chapitre 3 : Etude conceptuelle et génération des concepts.....	26
3-1 : Analyse fonctionnelle.....	27
3-1-1 : Analyse fonctionnelle du besoin.....	27
3-1-2 : Analyse fonctionnelle externe .....	29
3-1-3 : Création de l'arbre fonctionnel de la machine.....	38
3-1-4 : Choix de la configuration du système .....	41
3-1-5 : Cahier des charges fonctionnel.....	45
3-1-6 : Notes à la conception.....	47
3-2 : Emergence et convergence des concepts.....	49
3-2-1: Choix technologiques possibles.....	49
3-2-2 : Générations ou recherche des concepts .....	50
3-2-3 : Concepts retenus pour les sous-systèmes .....	53
Chapitre 4 : Conception, dimensionnement et choix des éléments .....	58
4-1 : Rappel des principales spécifications.....	59
4-2 : La tête de maintien .....	59
4-2-1 : Géométrie 3D .....	60
4-2-2 : Matériau et fabrication .....	60
4-3 : Tête de masquage .....	61

4-3-1 : Contraintes et géométrie 3D .....	61
4-3-2 : choix des autres dimensions non définies.....	63
4-3-3 : Mise en plan .....	64
4-4 : Autre composants du système .....	64
4-5 : Choix du Moteur du piston.....	66
4-6 : Dimensions et choix des galets de guidage .....	69
4-7 : Choix des éléments de guidage et de transmission.....	71
4-8 : L'outil de graphitage .....	72
4-8-1 : Principe du jet de peinture .....	72
4-8-2 : Rouleau à jet de graphite .....	73
4-9 : Validation des résultats.....	74
4-10 : Conclusion.....	76
4-11 : Calcul de la cadence (estimation).....	76
Conclusion générale .....	78
Liste des tableaux .....	79
Liste des figures.....	80
Bibliographie .....	81
Les Annexes .....	82-85

## Remerciement

لا يشكر الله من لا يشكر الناس

*C'est un devoir bien agréable de venir rendre hommage au terme de ce travail, aux personnes qui sans leur soutien ce travail n'aurait pas pu être fait.*

Au terme de mon travail, Je tiens en premier par le présent rapport à remercier profondément mon professeur encadrant A. El Hakimi Pour son encadrement pédagogique exemplaire, les efforts qu'il a déployé, ainsi que les conseils fructueux qu'il n'a cessé de me Prodiguier avec bienveillance ce qui prouve son intérêt et implication humaines et scientifiques.

Je tiens aussi à remercier Mr : Mohammed IRAQI le Directeur de La Société Marocaine Des Fonderies du Nord de m'accorder ce stage au sein de son établissement. Et le service des ressources humaines de m'avoir offert l'occasion d'effectuer mon Projet de Fin d'Etude dans les meilleures conditions.

Mes très sincères remerciements vont aussi à Mr. Rached Hassane Qui m'a encadré tout au Long de ce stage, pour son omniprésence, sa disponibilité, ainsi que les explications et les connaissances sur le sujet qu'il a Pu me communiquer, et à travers lui à l'ensemble du personnel de l'usine **FLOQUET MONOPOLE** qui m'ont aidé et plus particulièrement Azzedine Alilou Qui a sacrifié son temps pour me faciliter les choses et me fournit les informations dont j'avais besoin durant mon projet.

Ainsi je présente mes vifs remerciements les plus signifiants à tous les enseignants du département Génie Mécanique qui ont contribué à ma formation pendant ces années d'étude à la faculté des sciences et techniques de Fès.

Finalement, j'adresse un spécial remerciement aux membres de ma familles, pour leur soutien moral et matériel durant toute la période de ma formation et de mon stage, sans oublier toutes les personnes qui, de près ou loin, ont contribué à la réalisation de ce modeste travail.

## Introduction générale

Mon projet de fin d'études (PFE) s'intègre, dans le cadre de mes études en Master Génie Mécanique et Productique à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, s'est déroulé du 02 Février au 6 Juin 2016 pour une période de 18 semaines.

J'ai effectué mon PFE au sein de la Société Marocaine des Fonderies du Nord et dont le rapport est le présent. À fin de diversifier ma connaissance du milieu professionnel, et parfaire ma formation en conception et développement des produits, Je me suis dirigé vers un projet en conception en phase d'avant-projet ; L'objectif principal de la mission était la Conception et le Dimensionnement d'une machine de graphitage des pistons de moteurs. Les jupes des pistons ont besoin d'être recouvert d'une couche du graphite pour faciliter le rodage du piston dans le cylindre.

Pour réaliser cette tâche la société dispose d'un ancien système, manuel, utilisant une ancienne technologie (pistolet de graphitage) ; Qui n'est plus satisfaisant par sa cadence faible qui entrave la croissance de l'entreprise. En outre le système actuel souffre d'un manque de précision qui impacte négativement la qualité des pièces produites. Ce qui nécessite de concevoir un nouveau mécanisme pour palier à ces insuffisances. Les objectifs à atteindre sont, l'augmentation de la cadence, la flexibilité dans l'utilisation, la maîtrise des facteurs de production et le respect des normes de fabrication.

Pour aborder l'étude de ce projet, dans un premier temps l'entreprise dans laquelle j'ai effectué le stage sera présentée, puis nous entrerons dans le vif du sujet avec la présentation du projet, ensuite viendra l'étape de conception de la machine et le dimensionnement de ces éléments, et on conclura par une validation des résultats par calculs et simulation sur le logiciel SolidWorks. L'étude globale se termine par une estimation de la cadence de la machine.

# Chapitre 1 :

## Présentation de l'organisme d'accueil, la SMFN

« Ce chapitre présente la société où est effectué le stage, sa structure interne, son savoir-faire et particulièrement son site de production des pistons ainsi que son organisation technique »

## 1-1 : Généralités sur la SMFN

Créée en 1981, la Société Marocaine de Fonderie du Nord (S.M.F.N) dont le siège se situe dans le quartier industriel de Sidi Brahim, lot 59 rue 813 de Fès, a comme activité principale la fabrication de chemises et pistons pour moteurs essence et diesel. Elle dispose de trois ateliers répartis entre deux sites à savoir :

- Un site destiné à la production de pistons en alliage d'aluminium par moulage et usinage.
- Un site où l'on produit par usinage des chemises en fonte et des axes en acier.

Possédant la licence d'exploitation de Floquet Monopole, Société française qui fait partie du groupe Dana Américaine, la S.M.F.N. est certifiée ISO9001v2000 et ISO TS16949 ce qui montre son intégration à l'échelle mondiale.

En effet, elle produit pour des clients tels que : Perfect Circle Distribution Europe, FAURECIA, Renault du Maroc, Citroën ...

Etant la fonderie la plus grande en Afrique, la S.M.F.N. est aussi une société anonyme ayant un capitale de 33 500 000 Dirhams, et pouvant réaliser un chiffre d'affaires annuelles entre 50 et 100 millions de Dirhams. Elle produit en moyenne 600 000 pistons par ans.



Figure 1 : vue de la société Floquet Monopole

## 1-2 : Fiche de présentation

**Dénomination :** *Société Marocaine des Fonderies du Nord (SMFN)*

**Forme juridique :** *Société anonyme*

**Licence :** *Floquet Monopole*

**Capital social :** *33.5 Millions de DHS*

**C.A total:** *entre 5.5 et 8 millions d'Euros*

**Siège social :** *Quartier Industriel Sidi Brahim, Lot 59, Rue 812 Fès-MAROC*

**Objet social :** *fabrication par moulage, usinage et vente des axes en acier, des chemises en fonte grises et des pistons en alliage d'aluminium*

**Certification obtenue :** *ISO 9001 V 2000, ISO TS 16949*

**Date de création :** *1981*

**Tel :** *035 64 28 69*

**Surface :** *11600 M2 dont 6000 M2 couverts*

**Effectif du personnel employé :** *55, dont 10 cadres supérieurs et techniciens.*

## 1-3 : Organisation de la SMFN

### 1-3-1 : Organigramme de la société

La SMFN est structurée selon les niveaux hiérarchiques et fonctionnels illustrés sur l'organigramme de la figure 2, et ceci bien évidemment pour parvenir aux conditions de production optimales.

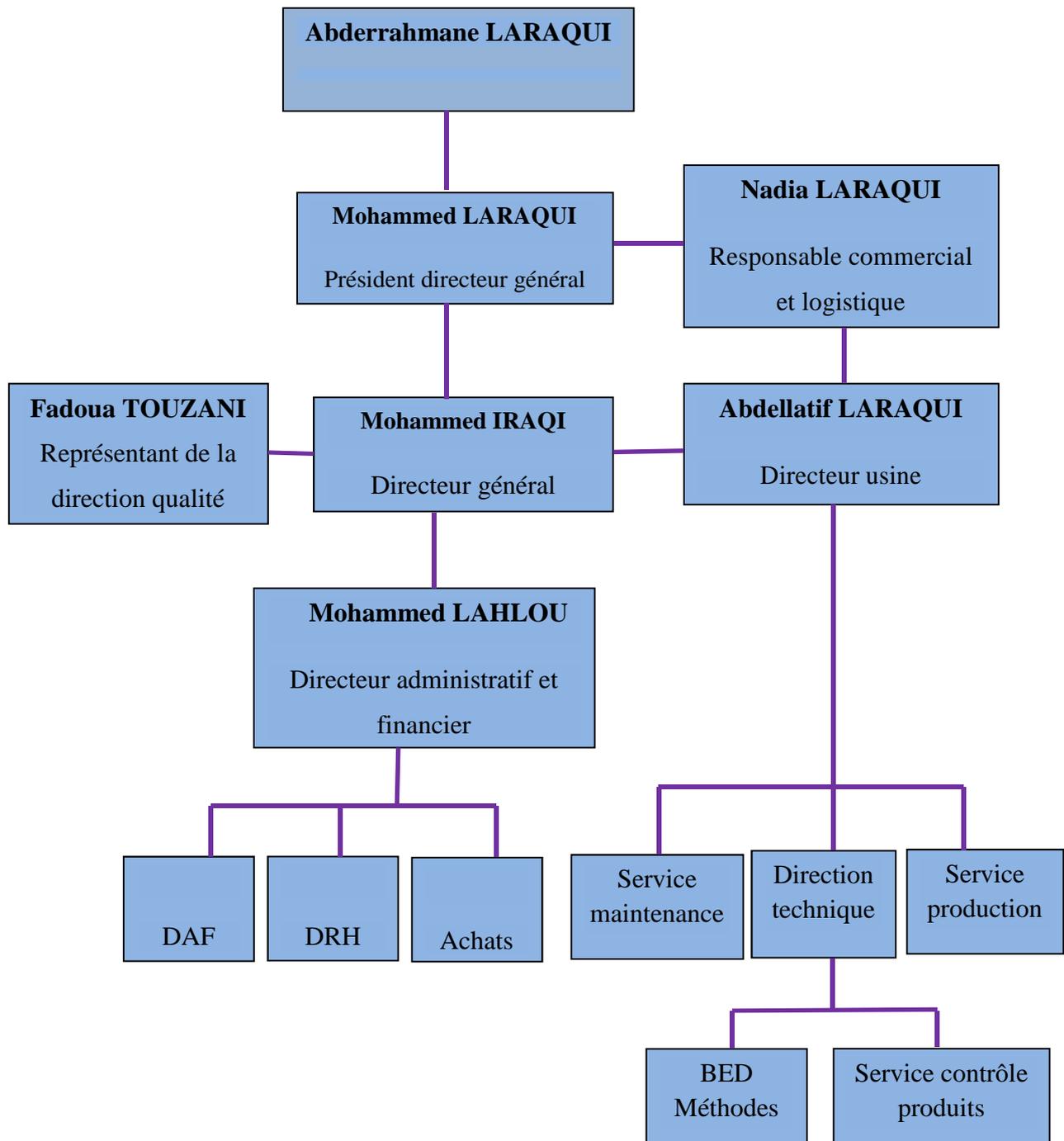


Figure 2 : Organigramme de la SMFN

### 1-3-2 : Organisation technique

La SMFN se constitue de plusieurs services dont chacun remplit des tâches bien précises, et qui contribuent au bon déroulement des procédés de production de contrôle et d'exportation ce qui entraîne ainsi un bon fonctionnement de l'entreprise ; parmi ces services on discerne.

#### Le bureau de méthodes

Il établit les processus de fabrication ainsi que les paramètres techniques à respecter conformément au plan de la pièce.

Ce bureau réalise quatre tâches essentielles afin d'avoir une bonne production :

- Etablissement de la gamme d'usinage (mode opératoire).
- Etablissement des plans des outillages de fabrication et de contrôle ainsi que les montages d'usinage et la définition des paramètres du processus
- Etablissement des fiches techniques : la modification de ces fiches entre l'édition d'une nouvelle version et la destruction de l'ancienne.
- Vérification à l'aide de la procédure AMDEC, de la production que toutes les phases du processus ont été analysées par AMDEC ; en cas de manque il provoque une réunion de ce groupe

#### Le Bureau d'Etude et de Développements

A pour rôle de :

- Etudier un mécanisme
- Concevoir le fonctionnement
- Choisir les matériaux constitutifs
- Il est en relation avec le bureau d'étude de FLOQUET MONOPOLE pour l'homologation des études.
- Dessiner les plans des outillages de fonderies et d'usinage spécifique à chaque produit.
- Assure la collecte des informations techniques des produits concurrents.
- Participe aux réunions A.M.D.E.C.
- Gérer les modifications techniques suivant la procédure.

Cette étude se concrétise par l'exécution des dessins accompagnés de spécifications précises en ne laissant place à aucune ambiguïté.

Le responsable de ce service doit avoir le bon sens de l'analyse ; de la synthèse ainsi qu'une bonne connaissance des composants moteurs.

### ✚ Le service ordonnancement

Il organise dans le temps, le fonctionnement de l'atelier afin de respecter les délais fixés. En plus de l'organisation des tâches, ce service s'occupe du suivi de production et définit à partir des données recueillies, des plans destinés à corriger les écarts éventuels pouvant amener au non-respect des programmes rétablis.

### ✚ Le service fonderie

Il est responsable de la production fonderie tant au niveau de la qualité, que la quantité, il est chargé de faire respecter les règles de procédures et les règles de sécurité travail.

La fonderie de Floquet Monopole utilise des alliages d'aluminium importés. Ces alliages sont conformes aux cahiers de charge des constructeurs automobiles.

Les pistons, bruts de fonderie, sont traités thermiquement. Ces traitements sont destinés à donner aux pièces une parfaite stabilité dimensionnelle.

Le service prend en responsabilité le personnel qui travaille dans l'atelier fonderie, ainsi que l'utilisation du planning de cet atelier, respecte aussi les engagements du planning de fabrication.

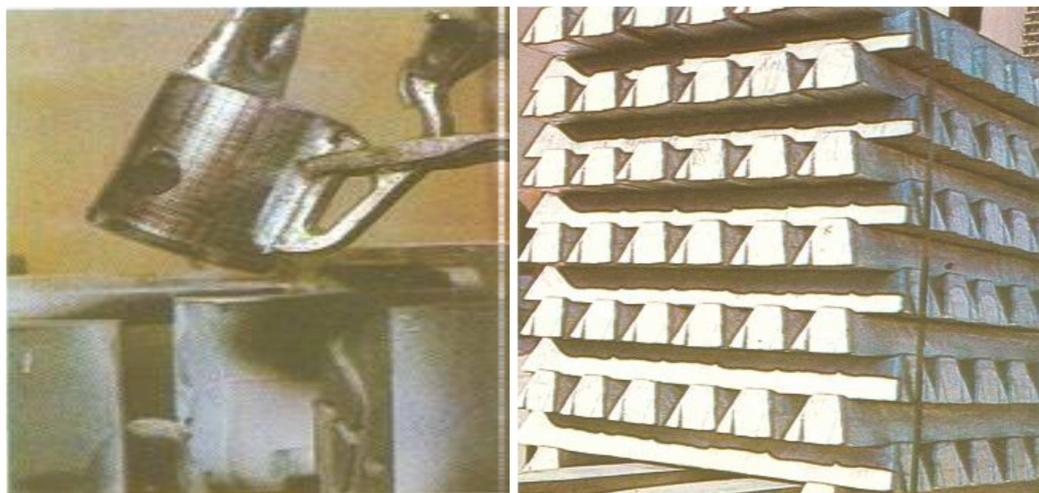


Figure 3 : Lingots d'aluminium

### ✚ Le 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 (ou groupes d'opérations) afin de tenir les détails de fabrication. Ces états sont utilisés lors du lancement.

### Le service Qualité

Il assure le bon fonctionnement du système management de la qualité et l'efficacité des activités au sein de la société conformément à la norme ISO 9001, pour cela il :

- S'assure du respect du manuel qualité ainsi que les procédures.
- Etablir les plannings des audits internes.
- Mène les audits qualité.
- Détecte les anomalies qui entravent la qualité. Fait le suivi de la mise en place et l'efficacité des actions correctives engagées lors des audits.
- Planning des travaux de la maintenance du premier niveau.
- Analyse les processus de fabrication qui regroupe.
  - Etude de la normalité du processus
  - Construction des cartes de contrôle
  - Etude de la capacité des machines

### Le service Contrôle

Ce service comporte les contrôleurs de fabrication, les contrôleurs finaux, les contrôleurs réception feu vert et le laboratoire, il :

- Assure la compatibilité des moyens de contrôle avec les contrôles à effectuer
- Intervient en cas de dérive de qualité signalé par son équipe de contrôle.
- Assure la réception qualitative des composants et matière première entrant dans le produit final.
- Assure la conformité et l'étalonnage des moyens de contrôle de fabrication
- Propose des améliorations qualité pour la réalisation des produits
- Participe aux réunions AMDEC

Ce service se compose de plusieurs contrôleurs qui s'occupent de la conformité métallurgique et dimensionnelle du produit fabriqué, en utilisant plusieurs matériels, parmi les moyens de contrôle auxquels dispose la société on trouve :

- Un appareil de contrôle non destructif par ultra son
- Un contrôle destructif : utilisation d'un microscope
- Un rugissement pour le contrôle de l'état de surface
- Dure mètre pour le contrôle de la dureté de la matière

### Le service maintenance

Ce service s'occupe de l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou d'assurer un service déterminé, ainsi que l'entretien de tous les équipements de la société en garantissant à ces derniers un bon état de fonctionnement en particulier aux machines servant à la production.

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.

### Le service ressources humain

Il joue un rôle capital au sein de la société FM, il est chargé de toutes les fonctions administratives et professionnelles de l'ensemble du personnel de l'usine afin de s'assurer qu'ils disposent de toutes les ressources nécessaires pour garantir le bon fonctionnement de l'entreprise.

### L'atelier mécanique

Il est chargé de réaliser des pièces unitaires d'après les dessins de définitions fournis par le Bureau 'Etudes et de Développement et le Bureau de Méthodes, ainsi que les pièces demandées par le service Maintenance.

## 1-4 : Produit fabriqué (le piston)

Les produits fabriqués sont les pistons pour les moteurs thermiques à combustion et à explosion interne, les chemises pour moteurs auxquels s'ajoute un nouveau site pour la fabrication des disques de freins.

La SMFN commercialise sa production auprès des principaux agents de marque automobile et poids lourd, les fabricants de moteurs industriels et les revendeurs des pièces détachées.

Ses clients sont :

- ✓ Péréfect Circle Distribution Europe & FAURECIA (PEUGEOT France)
- ✓ Buses Trucks (IVECO LYBIE)
- ✓ VEGE
- ✓ RENAULT MAROC
- ✓ Autres

### 1-4-1 : Définition du piston

En mécanique le piston (figure 4) est une pièce cylindrique, parfois conique, mobile qui assure 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, celle-ci source du mouvement du moteur.

Lorsque la chambre est ouverte par une soupape, il expulse les gaz brûlés où aspire le mélange du cycle suivant. Un piston permet la conversion d'une pression en un travail, ou réciproquement.

Les pistons sont présents dans de nombreuses applications mécaniques. La plus courante est le moteur à combustion interne, notamment dans l'automobile. On trouve également un ou plusieurs pistons dans les compresseurs, les pompes, les vérins, les détendeurs, les régulateurs, les distributeurs, les valves, les amortisseurs, mais aussi les seringues médicales ou les instruments de musique à pistons.

Il existe deux types de pistons : les pistons à simple effet, où la pression n'agit que sur une face (Seringues médicales), et les pistons à double effet, où la pression agit sur ses deux faces (locomotive à vapeur). Le déplacement du piston est provoqué par une pression à l'intérieur de la chambre.



*Violet : Soupape*

*Rouge : Piston*

*Bleu : Bielle*

*Jaune : Vilebrequin*

Figure 4 : Le piston dans le moteur

### 1-4-2 : Fonctionnement

L'action des pistons fournit la force motrice grâce à la combustion du mélange gazeux air essence. La jupe du piston est prévue pour s'adapter à la tête du cylindre. Les segments sont ajustés dans des nervures qui vont brosser les parois du cylindre pendant que la tête du piston se déplace verticalement.

Ces segments assurent l'étanchéité nécessaire pour éviter les fuites d'essence, d'air et des gaz d'échappement. Le piston est relié à la bielle par un axe en acier trempé appelé tourillon. Il est maintenu en place grâce à des circlips.

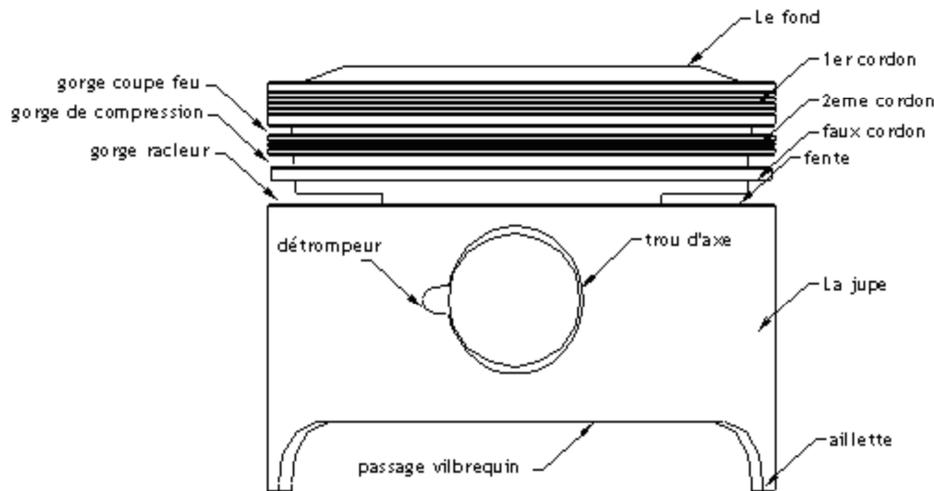


Figure 5 : Piston usiné

### 1-4-3 : Les processus de fabrication

#### a) La Fonderie

##### 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.

Le tableau 1 montre la décomposition de la matière première utilisée par une construction de piston.

	AS 12 en %	AS 18 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. - 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. - Augmente les caractéristiques mécaniques.
Titan (Ti)	0,2	—	- Affiner le grain de métal. - Améliore les caractéristiques mécaniques.

Tableau 1 : décomposition de la matière utilisée pour les pistons

### Remarques

>> 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.

f. 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 existant 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 à 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'aléuseuse. 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** : est une opération qui consiste à déposer une couche de carbonate de soude sur la jupe du piston.

- **Graphitage** : 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.

- Contrôle visuel

Il permet de :

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

- 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.

### d) 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.

### e) Emballage

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

### 1-4-4 : Les postes de l'atelier de fabrication de pistons

L'atelier comporte deux chaînes de fabrication :

- La chaîne classique : Incluant des postes d'usinage classiques. Celle-ci comporte différentes machines dans la plupart sont archaïques pour fabriquer des pistons de

rechange ou de remplacement, elle est en arrêt généralement, pour cause, elle ne fonctionne que lors des commandes assez importantes.

- Une chaîne numérique : Où les postes d'usinage sont à commande numérique.

Celle-ci est spécialisée dans la fabrication des pistons de type **TU1** tout en respectant les normes internationales, ces pistons seront expédiés à l'étranger, vers de grands constructeurs tels PEUGEOT, RENAULT et CITROEN et autres.

### La chaîne TU1

Cette série comporte 8 machines qui sont : l'OP 20A, OP20B, OP20C, OP30, OP40, OP50, OP60, OP70. Ces machines sont très sophistiquées et sont commandées numériquement. Elles exécutent généralement plusieurs opérations en même temps. La figure 6 représente la liste des OP au sein de la chaîne.



Figure 6 : Liste des OP

### La chaîne 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. La figure 7 représente l'implantation de différentes machines au sein de l'usine.

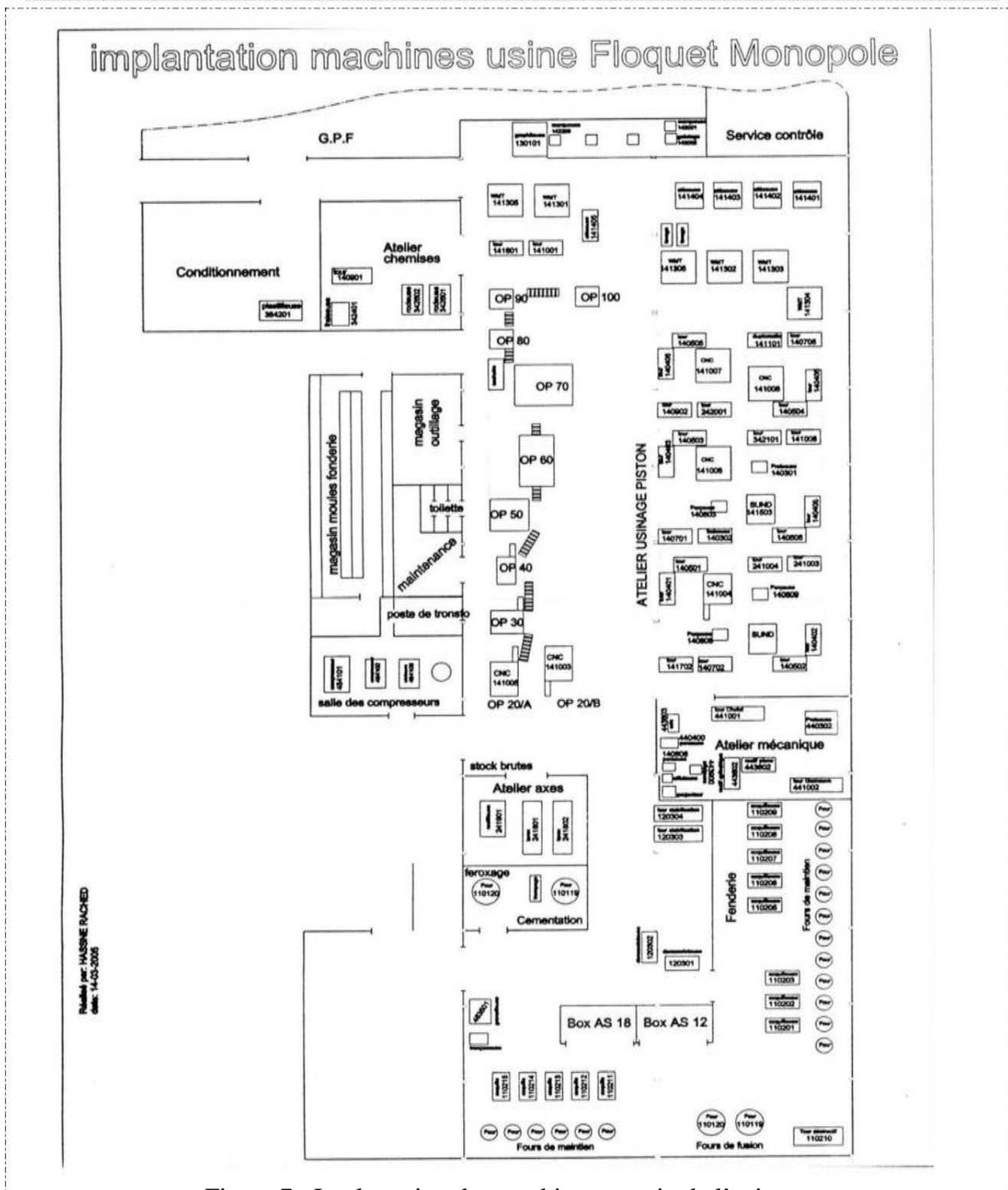


Figure 7 : Implantation des machines au sein de l'usine

## Chapitre 2 :

### Présentation du projet

« Ce chapitre présente les informations essentielles permettant de définir clairement le projet et à partir desquelles il pourra être élaboré plus en détails »

## 2-1 : Introduction

Tout piston fabriqué par la société, sa dernière opération est une sorte de traitement de surface (graphitage ou étamage) selon les commandes et la fabrication de la société.

Le graphitage se fait sur une machine et on traite seulement une partie de la surface du piston (la jupe) pour lui appliquer un film de graphite, avec la difficulté de réaliser cette tâche et les évolutions de la société beaucoup de problèmes sont rencontrés avec cette machine utilisée depuis plus de 26 ans.

Notre projet porte essentiellement sur cette problématique. Afin de mener à bien ce projet et appliquer les démarches minimisant les risques de son échec, le présent chapitre le présentera, aussi la problématique qu'il traite, son intérêt ainsi que son impact sur la productivité de l'usine et en fin ses critères d'évaluation.

## 2-2 : Nature

Il s'agit d'un projet de conception d'un système de graphitage de grande longévité, performant et réaliste pour le piston de type : **52952AESTD** conforme au cahier des charges en utilisant des nouvelles technologies. Tout en élaborant un rapport de validation du prototype proposé, et en minimisant le délai et le cout de fabrication.

## 2-3 : Problématique

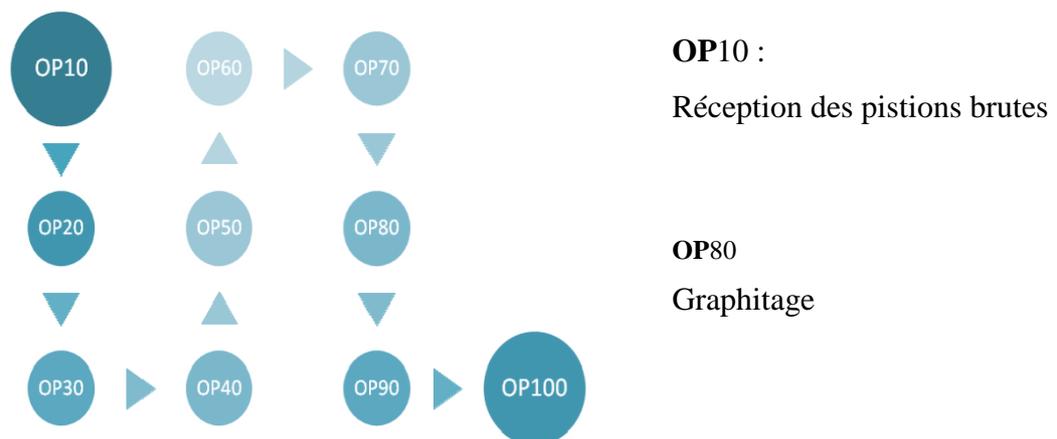


Figure 8 : Diagramme de succession des opérations

Comme on peut le voir, le plan d'implantation des machines de la chaîne de

fabrication des pistons montre qu'il s'agit d'une ligne se terminant par l'étape ou le poste de graphitage par laquelle passe tous les pistons commandés graphités, et donc toute défaillance quelle que soit sa nature sur ce poste influencera le processus de fabrication, voire causer son arrêt si elle est importante car il s'agit en premier d'un poste critique.

D'ailleurs le système existant pour réaliser cette tâche est un ancien système, manuelle, qui ne permet pas de la réaliser pour tous les types de piston conformément aux attentes et performances attendues; qui devient de plus en plus insatisfaisant par sa cadence faible qui entrave la croissance de l'entreprise, son ancien technologie (ancien type de pistolet de graphitage et bagues) et son incompatibilité avec les attentes technologique d'aujourd'hui de l'entreprise. son historique des défaillances montre qu'il rencontre des pannes répétitives les dernières années qui nécessitent une réparation et par conséquence des durées d'intervention ; ce qui en résulte un baisse du flux de production, un niveau important de stock devant les autres postes et parfois l'obligation à travailler des heures supplémentaires ou même pendant la nuit ou les week-end pour satisfaire le délai de la commande.

#### 2-4 : Objectifs

L'objectif de ce projet est de concevoir un système de graphitage, dans un premier temps pour le piston de type : **52952AESTD** et qui ensuite peut être développé pour graphiter les autres pistons ; destiné à être utilisé dans la chaîne de fabrication des pistons de l'usine de la société et piloté par ses opérateurs pour remplacer l'ancien système, en partant des défauts que présente cet ancien système et les objectifs dans l'avenir du personnel du service production ; pour concevoir un produit (système) pouvant répondre à leurs besoins et qui permettra de tripler la cadence actuelle (environ 90 pistons /h) ou le quadrupler. Et qui devra résoudre un certain nombre de problèmes supplémentaires ; ce projet présente une grande importance pour l'entreprise car il va lui permettre de renouveler une partie de sa chaîne de production, gérer ses stocks, éliminer des gaspillages du temps et augmenter sa productivité.

#### 2-5 : Contraintes à respecter

- Le prototype proposé doit être simple à réaliser et à manipuler
- Types de piston graphités : le prototype doit pouvoir être développé pour graphiter tous les types qui peuvent être commandés graphités

- L'étude et la conception doivent être terminées et le rapport de validation du prototype rendu avec le fin du stage
- Le budget à louer au prototype doit être réduit le maximum possible
- En cas ou décider de réaliser le prototype, celui-ci doit avoir des résultats durables et à court terme

## 2-6 : Critères d'évaluation

L'objectif visé nous permet d'établir les critères d'évaluation suivants.

- La qualité de graphitage

Couche du graphite : une couche dont l'épaisseur est environ 2,5  $\mu$

Précision : le dépôt de la couche sur la jupe doit être précis

- Cadence > 250 pistons /h
- Simplicité de manipulation

## 2-7 : Rappel sur les pistons

- Types

Nous nous intéressons ici en premier lieu par les pistons fabriqués par la société et particulièrement par leurs dimensions, ainsi on trouve que la société fabrique des dizaines de types de pistons selon leurs dimensions.

- Dimensions

Les dimensions des pistons qui peuvent influencer notre étude son essentiellement :

Diamètre : varie entre 58mm et 147 mm

Longueur de la jupe : entre 10 mm et 42 mm

Longueur : entre 10 mm et 42 mm

Diamètre du trou d'axe : entre 16 mm et 55 mm

Pour le type : **52952AESTD**

Diamètre = 77 mm

Longueur de la jupe = 51 mm

Longueur = 72 mm

- Matériau

Alliage aluminium AS12 ou AS18

- La jupe du piston

La jupe du piston est la partie assurant le guidage du piston dans le cylindre, Elle est d'autant plus importante en terme du poids que les pistons peuvent subir des accélérations très importantes; l'état de surface de cette jupe est primordial pour assurer le maintien d'une quantité minimale d'huile nécessaire pour une bonne lubrification, d'autant plus que près de 75 % des pertes par frottement se font à ce niveau.

- But de la couche de graphite sur la jupe

Ce type de traitement de surface appliqué uniquement sur la jupe a pour but d'éviter le contact avec le métal de la chemise (rôle de rodage du piston dans les moteurs qui disparaît généralement après 1500 km). Lors du fonctionnement à pleine charge, de plus la réaction latérale induite par la bielle peut briser le film d'huile de lubrification dans certaines zones. Le graphite remplace alors l'huile dans une certaine mesure.

- Principe du graphitage

Le principe de graphitage est le même que pour les tee-shirts en sérigraphie. Une pellicule de graphite est déposée sur la jupe du piston.

## 2-8 : Démarche du projet

Afin de réaliser pleinement l'objectif visé, le projet débutera par une phase d'analyse fonctionnelle et de préféabilité afin d'élaborer les spécifications du cahier des charges, repérer les concepts dictés par les contraintes du projet et les orientations technologiques ; en suite une recherche des concepts pour les autres mécanismes en parallèle avec une conception mécanique sur un logiciel de CAO et en fin une phase de choix et dimensionnement des éléments des concepts retenus.

# Chapitre 3 :

## Etude conceptuelle et génération des concepts

« Ce chapitre présente les principaux résultats du système ainsi que le choix des concepts finaux pour le système et chacun des sous-systèmes »

### 3-1 : Analyse fonctionnelle

Il s'agit du support majeur des analyses, permettant de modéliser de manière structurée le produit, de sorte de favoriser la compréhension de son fonctionnement et d'optimiser sa conception ou réconception en s'appuyant sur les fonctions que doit réaliser celui-ci.

Les statistiques prouvent qu'il existe d'avantage de produits mal conçus par insuffisance d'analyse fonctionnelle que par manque de réflexion dans la recherche de solution.

#### 3-1-1 : Analyse fonctionnelle du besoin

##### ✚ Nom du système

Pour caractériser notre machine de graphitage des pistons on lui donne le nom neutre : **SGP-SH2202**

##### ✚ Expression du besoin

Afin de bien exprimer le besoin du client on utilise le schéma normalisé de l'expression du besoin ou graphe des prestations –«bête à cornes » ; cette méthode d'expression du besoin repose sur les trois questions suivantes:

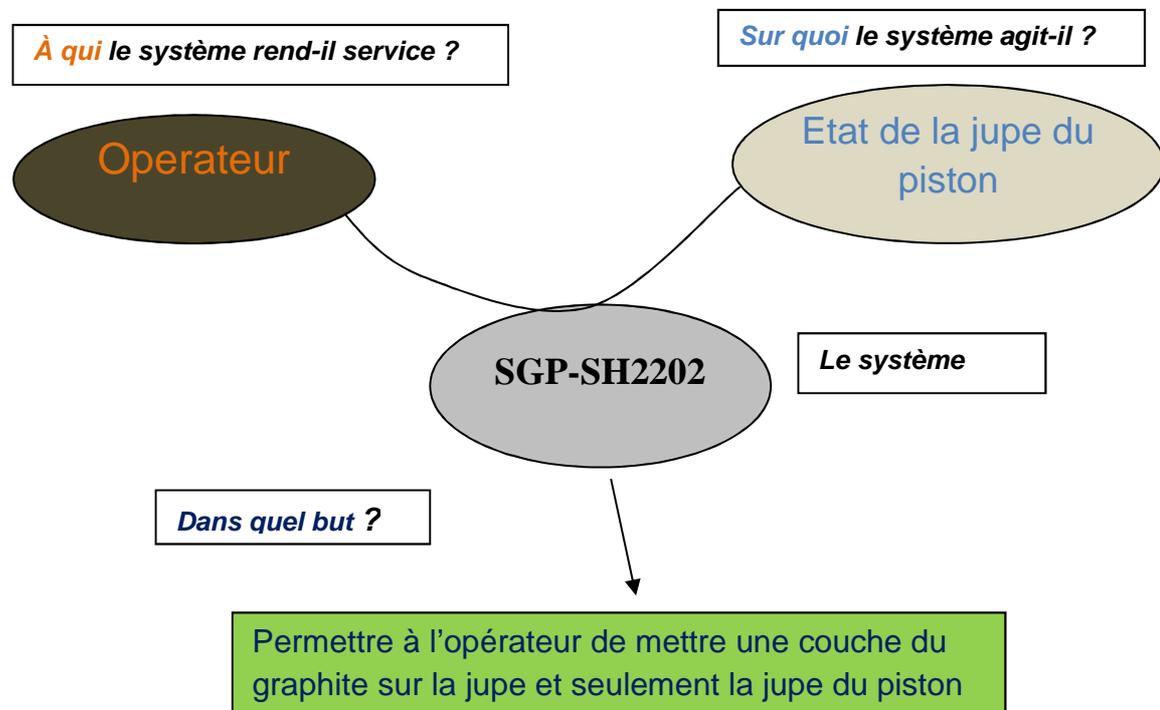
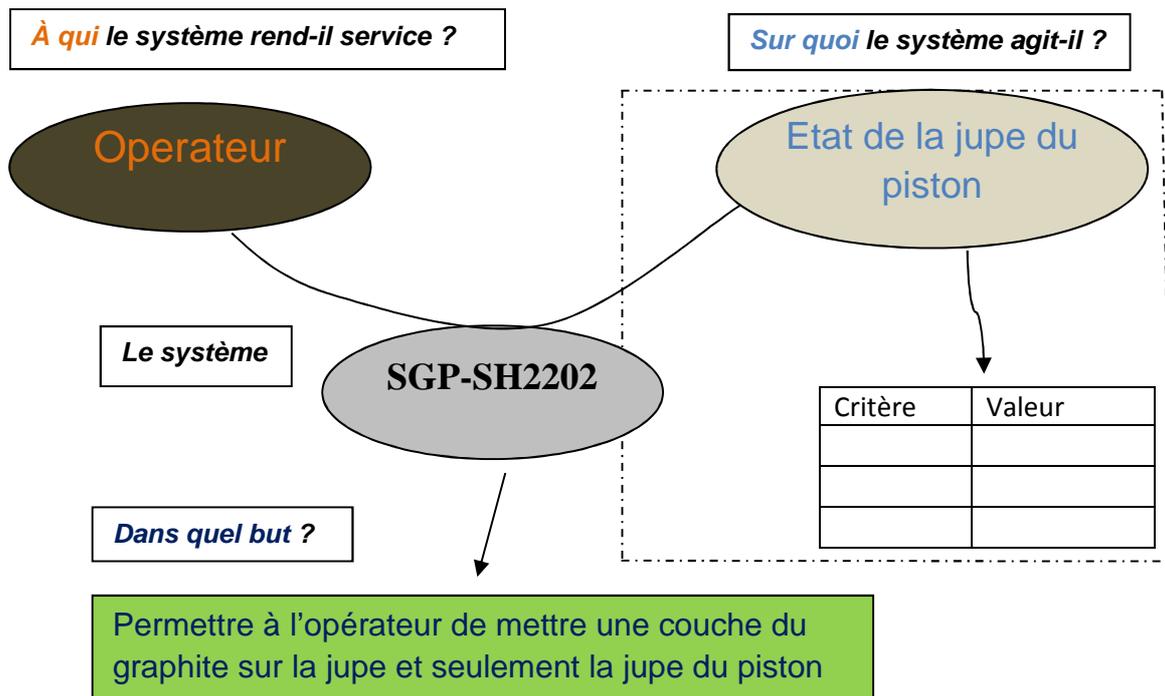


Figure 9 : Graphe bête à cornes

### Caractérisation du besoin

Pour valider la satisfaction du client, L'expression du besoin n'est pas suffisante et il faut caractériser ce besoin.

Il s'agit de préciser la métrique qui va permettre d'appréhender l'effet du produit (le système) sur le phénomène (état de la jupe) et de donner le seuil de satisfaction du client. On définit un critère (grandeur physique mesurable) et on précise une valeur c'est-à-dire un niveau attendu.



Le système agit sur la jupe du piston en déposant une couche du graphite, les critères sont en particulier la qualité de la couche du graphite et le temps de graphitage

Critère	Valeur
Qualité	Couche d'épaisseur 2 à 3 $\mu$
Le temps	Environ 4 piston / min

### Validation du besoin

Le besoin d'un nouveau système pour remplacer l'ancien est validé par, d'une part la nécessité de satisfaire la demande croissante des clients, et d'autre part l'utilisation de

nouvelle technologie permettant plus de précision pour remplir exactement son cahier de charges.

### ✚ La fonction globale du système

Le système doit permettre de couvrir la jupe et seulement la jupe du piston d'une couche de graphite et assurer la qualité souhaitée de la couche.

### 3-1-2 : Analyse fonctionnelle externe

#### ✚ Recherche des fonctions par la méthode RESEAU

Les outils retenus de la méthode RESEAU sont R, E, A et U

#### Recherche intuitive

Les fonctions qui résultent de la méthode intuitive sont les suivantes

No	Fonctions
F1	Graphiter des pitons
F2	Maintenir le piston
F3	Appliquer une couche de graphite sur la jupe du piston
F4	Etre durable
F5	Etre peu couteux
F6	Empêcher le graphite de rentrer par le trou d'axe du piston

Tableau 2 : Fonctions trouvées par la méthode intuitive

#### Examen de l'environnement (diagramme des interacteurs)

Les interacteurs de la machine identifiés sont montrés sur la Figure 10. Aussi les caractéristiques des interacteurs sont décrites sur cette même figure.

- Recherche des fonctions d'adaptation

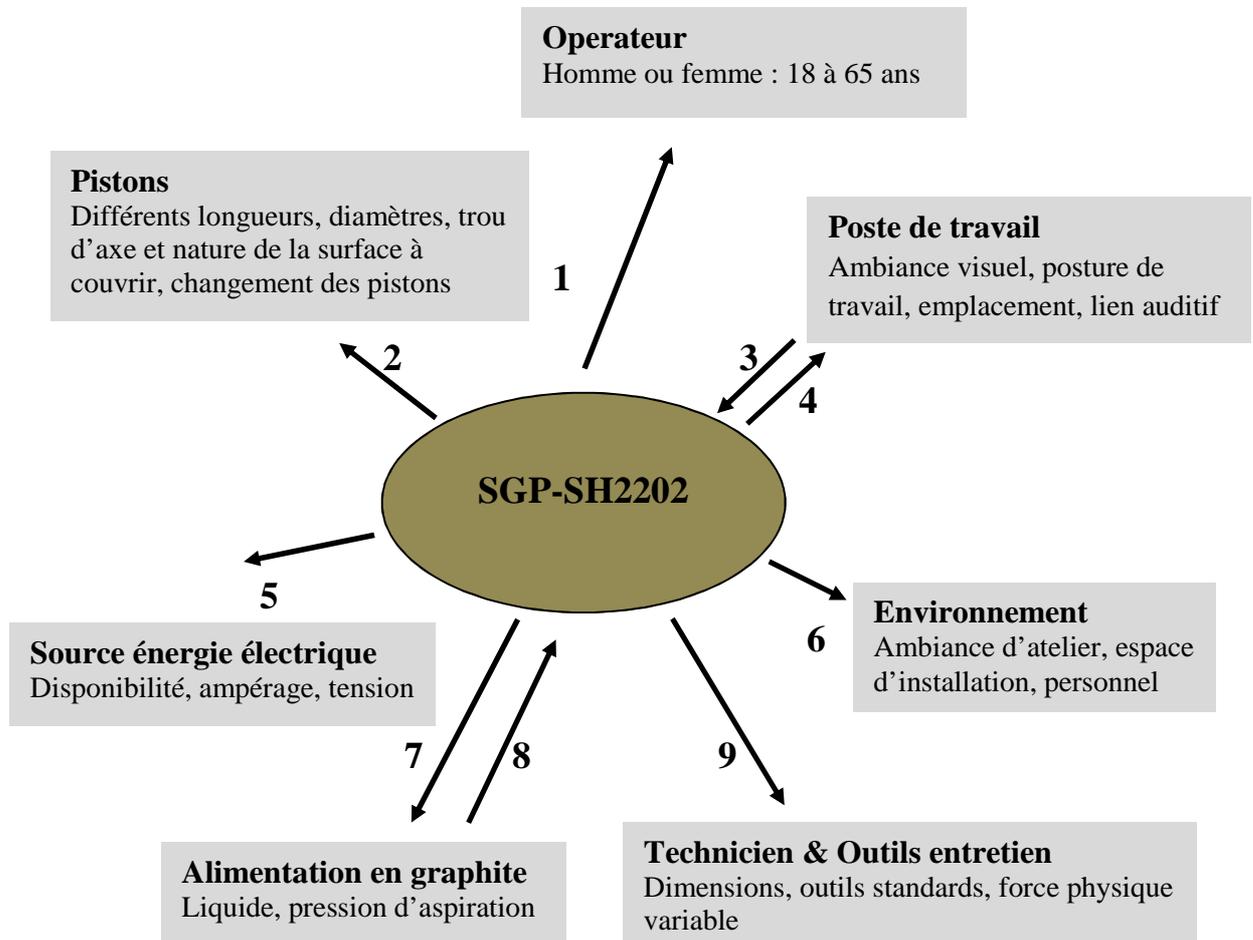


Figure 10 : Interacteurs de la machine

Les fonctions d'adaptation qui résultent de la méthode des interacteurs sont les suivantes (les numéros réfèrent aux flèches de la Figure10):

**1. Machine – Operateur**

- Assurer la sécurité de l'opérateur
- S'adapter à la main de l'opérateur
- Permettre à l'opérateur de procéder manuellement en cas de problème

**2. Machine – Piston**

- Ne pas endommager le piston
- Facilite le maintien précis de piston

- Permettre de couvrir la jupe du piston
- Minimiser l'effort nécessaire pour maintenir en place le piston
- S'adapter à la forme du piston
- Permettre de graphiter différent types de pistons à la fois

**3. Machine – Poste de travail**

- Permettre une bonne posture de travail

**4. Poste de travail - Machine**

- Permettre et faciliter la manipulation de la machine

**5. Machine – Source électrique**

- utiliser la source d'alimentation électrique conventionnelle disponible

**6. Machine – Environnement**

- Permettre l'installation dans l'espace disponible

**7. Machine – alimentation en graphite**

- Permettre l'aspiration rapide du graphite
- Empêcher toute fuite du liquide

**8. Alimentation en graphite – Machine**

- Ne pas polluer la machine

**9. Machine – Technicien & Outils entretien**

- Faciliter l'entretien
- Permettre d'utiliser des outils standards
- Minimiser l'effort nécessaire pour l'entretien
- Facilite l'accès aux composantes à entretenir

- Recherche des fonctions d'interaction

La Figure 11 montre les liens d'interaction entre les interacteurs de la machine.

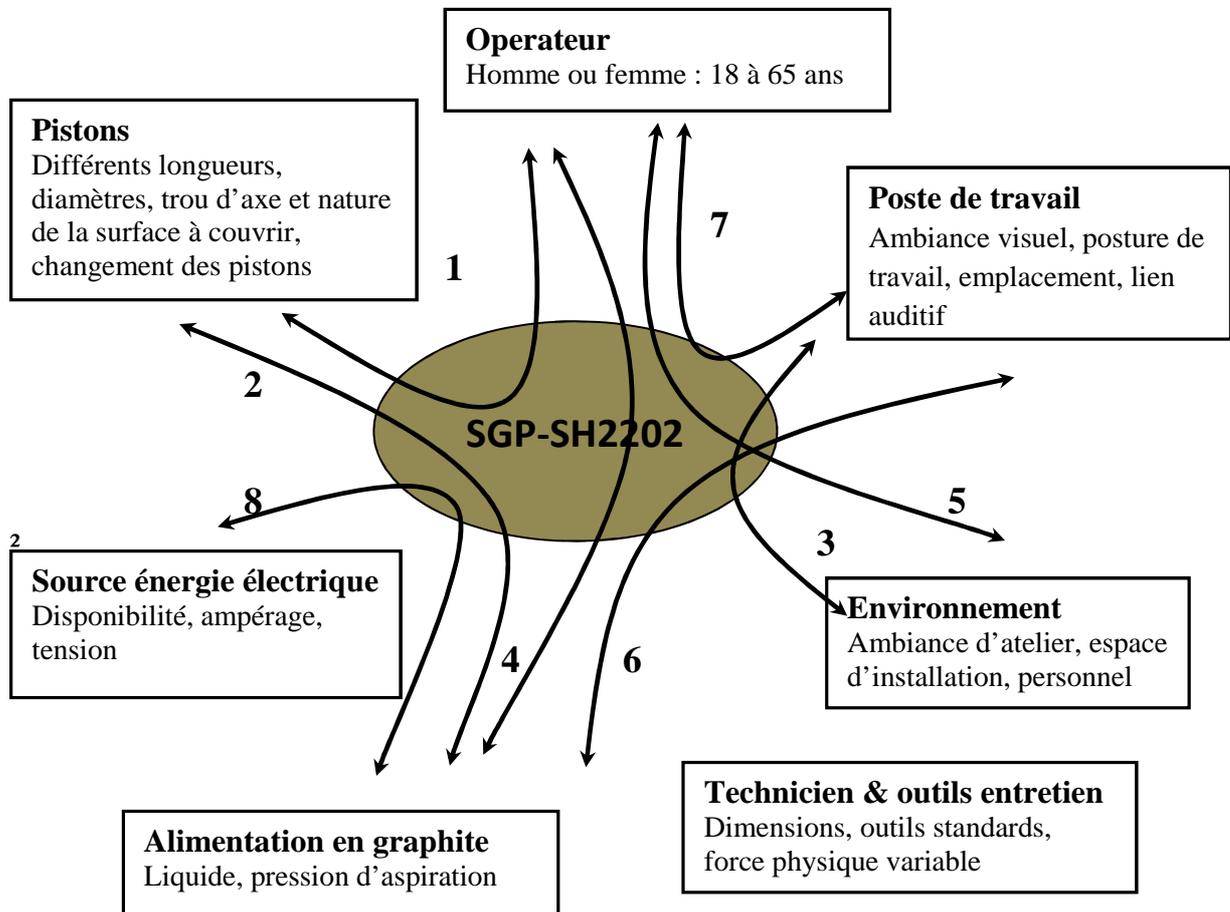


Figure 11 : liens d'interaction entre les interacteurs de la machine

Les fonctions d'interaction trouvées sont les suivantes :

#### 1. Operateur – Piston

- Faciliter l'action de l'opérateur sur le piston
- Permettre à l'opérateur de monter et démonter facilement les pistons
- Permettre à l'opérateur de s'assurer du bon maintien du piston

#### 2. Piston - alimentation en graphite

- Permettre de répartir le graphite sur la jupe du piston
- Empêcher le graphite de se déposer sur la surface du piston autre que la jupe

**3. Poste de travail – Environnement**

- Permettre de positionner le poste de travail dans un endroit favorable pour l'opérateur dans le local

**4. Alimentation en graphite - Operateur**

- Protéger l'opérateur de l'effet du graphite

**5. Operateur – Environnement**

- Favoriser la transmission des messages visuels et auditifs entre l'opérateur et le personnel

**6. Poste de travail - alimentation en graphite**

- Ne pas laisser échapper du graphite dans le poste de travail

**7. Operateur – Poste de travail**

- Permettre à l'opérateur de suivre le processus du graphitage à partir du poste

**8. Source électrique - alimentation en graphite**

- Permettre d'isoler l'alimentation électrique de celle en graphite (liquide)

Enfin, le Tableau 3 et 4 font le sommaire (résumée) des fonctions trouvées par la méthode des interacteurs.

Tableau 3 : Résumée des fonctions trouvées par la méthode des interacteurs

No	Fonctions
F7	permettre à l'opérateur de procéder manuellement en cas de problème
F8	ne pas endommager le piston
F9	minimiser l'effort nécessaire pour fixer en place le piston
F10	facilite le maintien précis du piston
F11	Assurer l'alimentation en graphite
F12	empêcher toute fuite du graphite liquide
F13	faciliter l'action de l'opérateur sur le piston

Tableau 4 : Suite résumée des fonctions trouvées par la méthode des interacteurs

No	Fonctions
F14	Permettre à l'opérateur de monter et démonter facilement les pistons
F15	permettre à l'opérateur de s'assurer du bon maintien du piston
F16	Répartir le graphite sur la jupe du piston
F17	Masquer la surface du piston à ne pas graphiter
F18	permettre de couvrir la jupe du piston
F19	protéger l'opérateur de l'effet du graphite
F20	permettre à l'opérateur de suivre le processus du graphitage à partir du poste de travail
F21	s'adapter à la forme du piston
F22	permettre et faciliter la manipulation de la machine
F23	utiliser la source d'alimentation électrique conventionnelle disponible
F24	permettre l'installation dans l'espace disponible
F25	permettre d'utiliser des outils standards en cas d'entretien
F26	faciliter l'entretien
F27	permettre de positionner le poste de travail dans un endroit favorable pour l'opérateur dans le local
F28	ne pas laisser échapper du graphite dans le poste de travail
F29	permettre d'isoler l'alimentation électrique de celle en graphite (liquide)

### Analyse d'un produit de référence

Notre produit de référence est l'ancien système utilisé pour réaliser le graphitage, son

analyse donne les fonctions suivantes

No	Fonctions
F30	Posséder une commande de mise en marche
F31	Etre simple à utiliser
F32	Contrôler la quantité du graphite appliquée
F33	Avoir un bon rendement
F34	Contrôler et minimiser le temps de l'opération
F35	Masquer la tête du piston du dépôt du graphite

Tableau 5 : Résumée des fonctions trouvées à partir de l'analyse du produit de référence

#### Utilisation des normes

L'utilisation des normes donne les fonctions suivantes

Tableau 6 : Résumée des fonctions trouvées en utilisant les normes

No	Fonctions
F36	Ne pas engendrer des risques Mécaniques
F37	Ne pas demander une formation de l'opérateur
F38	Ne pas être à l'origine de risques pour la sécurité et la santé des personnes
F39	Posséder un bouton d'arrêt d'urgence

#### Caractérisation des fonctions

Après avoir trouvé en apparence toutes les fonctions, l'étape suivante consiste à les trier et les identifier, pour cela et pour en faciliter le tri :

- Pour les fonctions qui réfèrent à des concepts et non à une fonction du produit, soit on les élimine soit on les met de côté pour être utilisées subséquemment pour expliciter des fonctions d'usage de l'arbre fonctionnel.
  - Ensuite on isole les **fonctions d'estime**, Ces fonctions qui interagissent **parfois** dans la construction de l'arbre fonctionnel, ne devraient autant que possible servir que pour établir des spécifications d'ingénierie complémentaires pour la sélection des concepts.
  - Et en fin on identifie les fonctions retenues par les trois caractéristiques :
    1. Le type de fonction : service (usage ou estime), technique ou de contrainte
    2. L'échelle de Kano : Echelle de classement selon le diagramme de KANO qui comporte les quatre classes : Base (B), Performance (P), Innovation (I) ou Contrainte (C).
    3. la méthode de classement de l'AFNOR : une façon pour classer les fonctions par ordre d'importance, les niveaux de classement sont: Indispensable (IND), Importante (IMP), Intéressante (INT), Accessoire(ACC).
- Enfin les tableaux 7 et 8 présentent les fonctions d'estimes de la machine et le tableau 9 la listes des fonctions importantes pour la machine retenues pour la création de l'arbre fonctionnel.

Tableau 7 : Fonctions d'estimes de la machine

No	Fonctions	Méthode	Méthode de classement		
			Type	Kano	AFNOR
F4	Etre durable	Intuitive	Estime	B	IND
F8	ne pas endommager le piston	Interacteurs	Estime	B	IND
F13	Faciliter l'action de l'opérateur sur le piston	Interacteurs	Estime	P	IMP
F14	Permettre à l'opérateur de monter et démonter facilement les pistons	Interacteurs	Estime	P	IMP

Tableau 8 : Suite des fonctions d'estimes de la machine

No	Fonctions	Méthode	Méthode de classement		
			Type	Kano	AFNOR
F15	permettre à l'opérateur de s'assurer du bon maintien du piston	Interacteurs	Estime	B	IND
F20	permettre à l'opérateur de suivre le processus du graphitage à partir du poste de travail	Interacteurs	Estime	I	INT
F21	s'adapter à la forme du piston	Interacteurs	Estime	B	IMP
F26	faciliter l'entretien	Interacteurs	Estime	P	INT
F31	Etre simple à utiliser	Produit de référence	Estime	P	INT
F36	Ne pas engendrer des risques Mécaniques	Utilisation des normes	Estime	B	IMP
F38	Ne pas être à l'origine de risques pour la sécurité et la santé des personnes	Utilisation des normes	Estime	B	IMP

Tableau 9 : Liste finale des fonctions importantes retenues pour la machine

No	Fonctions	Méthode	Méthode de classement		
			Type	Kano	AFNOR
F1	Graphiter des pitons	Intuitive	Usage	B	IND
F2	Maintenir le piston	Intuitive	Usage	B	IND
F3	Appliquer une couche de graphite sur la jupe du piston	Intuitive	Usage	B	IND

Tableau 10 : Suite de la liste finale des fonctions importantes retenues pour la machine

No	Fonctions	Méthode	Méthode de classement		
			Type	Kano	AFNOR
F6	Empêcher le graphite de rentrer par le trou d'axe du piston	Intuitive	Usage	B	IND
F9	minimiser l'effort nécessaire pour fixer en place le piston	Interacteurs	Technique	P	IMP
F10	facilite le maintien précis du piston	Interacteurs	Estime	P	IMP
F11	Assurer l'alimentation en graphite	Interacteurs	Usage	B	IND
F16	Répartir le graphite sur la jupe du piston	Interacteurs	Usage	B	IND
F17	Masquer la surface du piston à ne pas graphiter	Interacteurs	Usage	B	IND
F19	protéger l'opérateur de l'effet du graphite	Interacteurs	Usage	B	IMP
F28	ne pas laisser échapper du graphite dans le poste de travail	Interacteurs	Usage	P	IMP
F32	Contrôler la quantité du graphite appliquée	Produit de référence	Usage	B	IMP
F34	Contrôler et minimiser le temps de l'opération	Produit de référence	Technique	P	IMP
F35	Masquer la tête du piston du dépôt du graphite	Produit de référence	Usage	B	IND

### 3-1-3 : Création de l'arbre fonctionnel de la machine

L'objectif de la construction de l'arbre fonctionnel est d'avoir une vue globale claire et structurée des fonctions que la machine doit remplir, et aussi mettre en évidence les principaux sous-systèmes du produit. L'arbre fonctionnel de la machine est illustré à la figure 12.

Tableau 11 : Liste des fonctions trouvées en créant l'arbre fonctionnelle

No	Fonctions
F40	Tenir un outil de graphite
F41	Générer des mouvements de l'outil de graphitage et /ou le piston
F42	Recouvrir la zone du graphitage
F43	Isoler la jupe du piston
F44	Recouvrir les sous-systèmes
F45	Permettre la mise sous tension
F46	Favoriser la durabilité des pièces utilisées
F47	Contrôler les mouvements

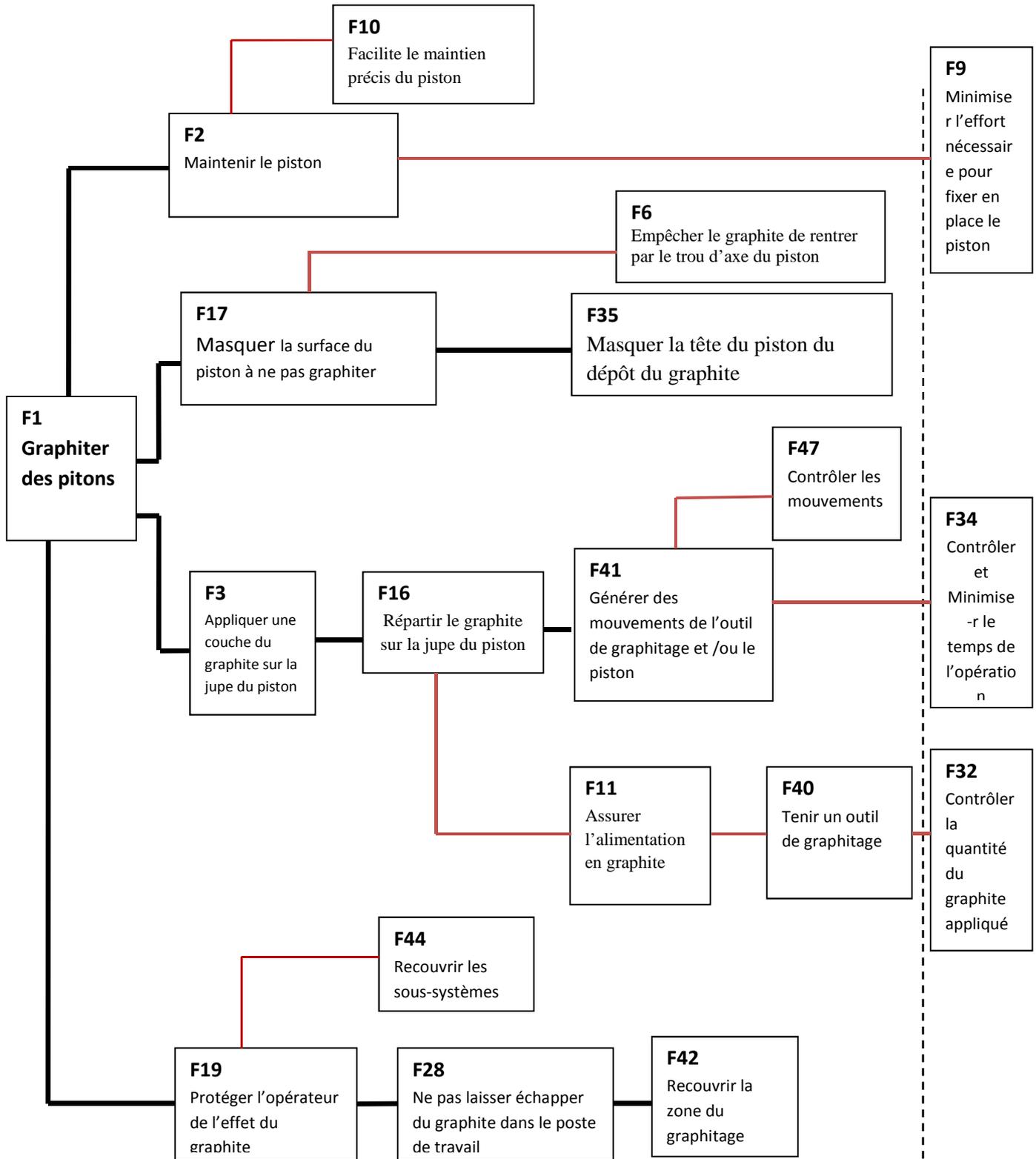


Figure 12 : Arbre fonctionnel de la machine SGP-SH2202

L'arbre fonctionnel montre qu'on peut identifier notre système par les grands sous-systèmes suivants pour la conception:

- sous-système de maintien du piston
- sous-système de masquage de la surface à ne pas graphiter
- sous-système de répartition de la couche du graphite
- sous-système de protection

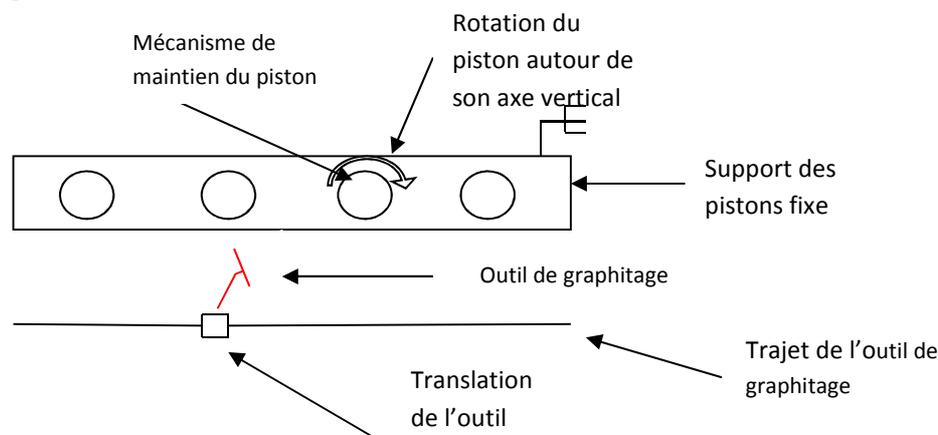
On remarque aussi qu'un sous-système de commande qui couvre tous les concepts de l'aspect contrôle devait être mentionné, mais ce n'était pas le cas car le concept de ce sous-système est imposé par les contraintes imposées, et déjà presque défini lors des résultats précédents.

#### 3-1-4 : Choix de la configuration du système

Il s'agit ici de définir la nature de l'agencement des sous-systèmes entre eux, ou' on s'intéresse particulièrement au concept globale défini par le sous-système de répartition de la couche du graphite, c'est-à-dire les mouvements relatifs du piston et l'outil de graphitage l'un par rapport à l'autre, afin d'identifier les concepts qui s'imposent pour certains éléments et faciliter la recherche des concepts pour les autres.

Après une longue recherche et un tri des configurations possible, les configurations jugées les meilleures indépendamment de la technologie utilisée pour graphiter sont.

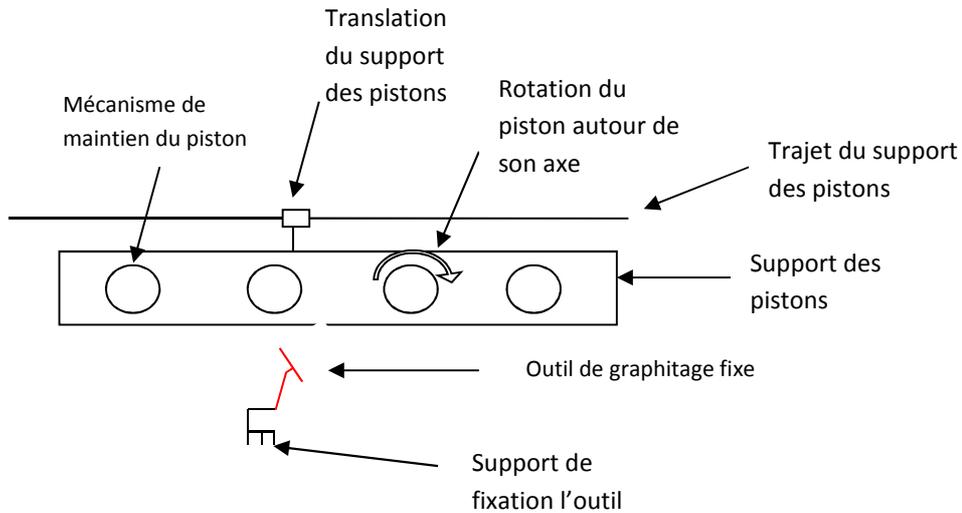
#### Configuration 1



Dans cette configuration les pistons sont maintenus sur un support fixe et pouvant tourner chacun autour de son axe qui est verticale, et l'outil de graphitage qui se translate du côté

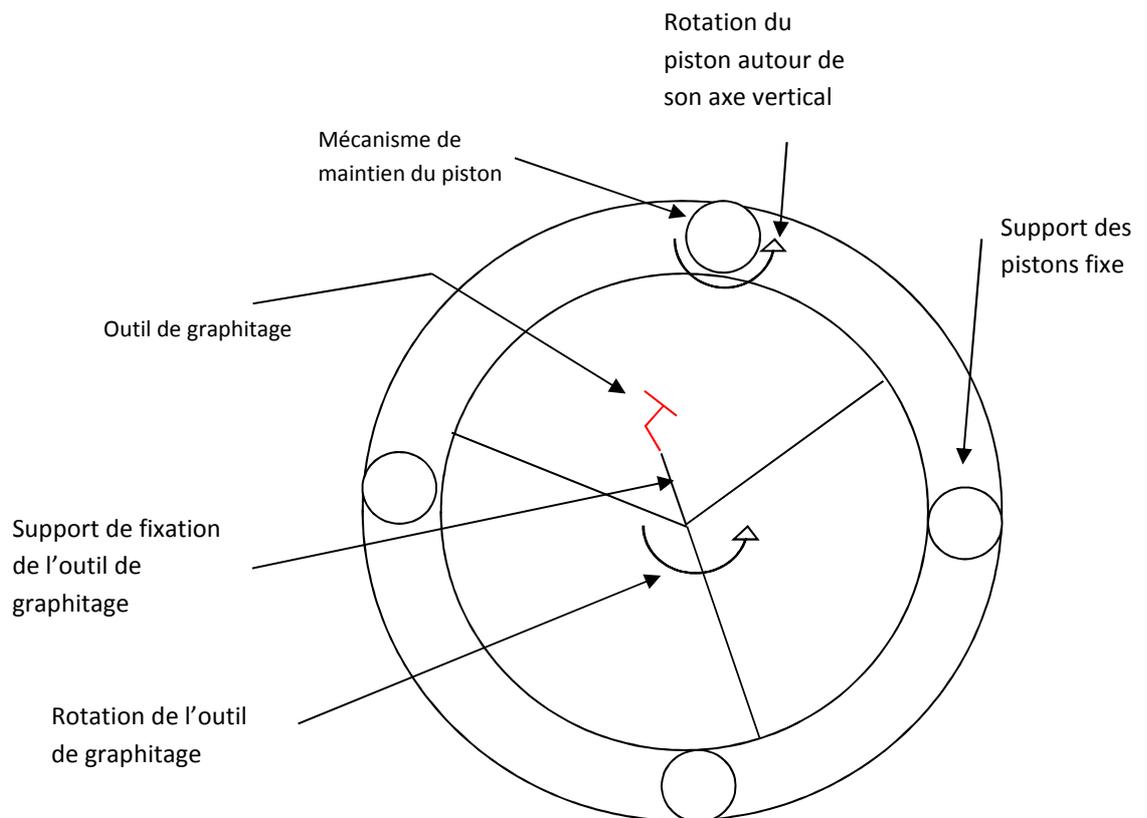
des pistons pour les graphiter.

### Configuration 2



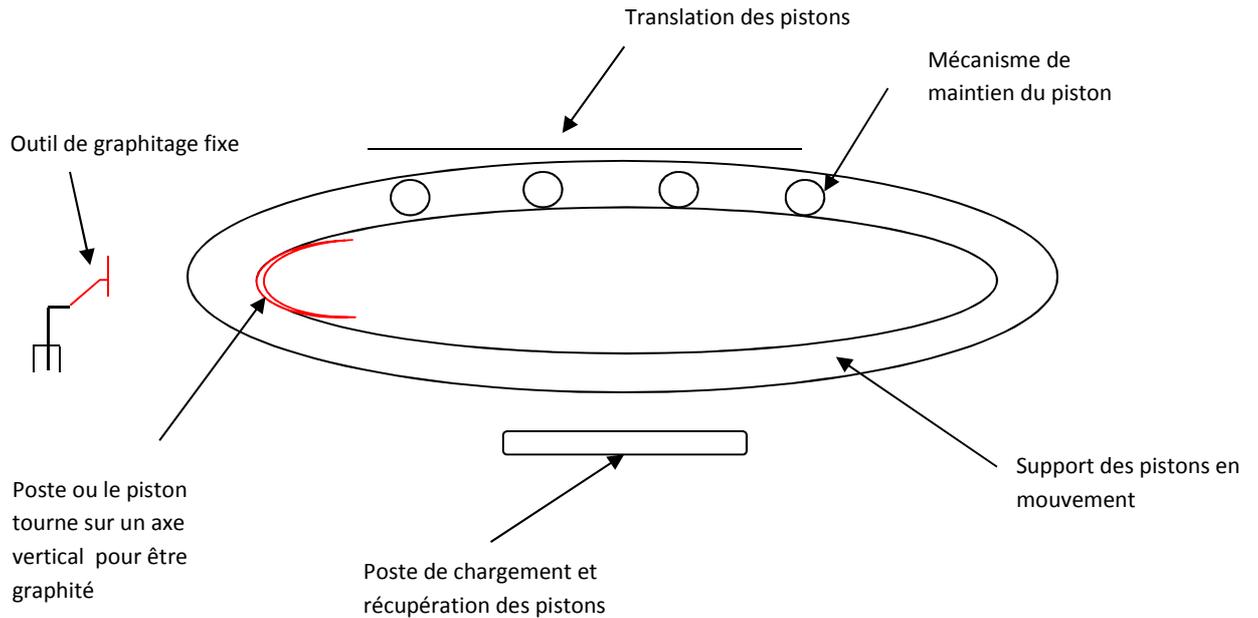
Cette configuration se diffère de la première par le faite que c'est le support des pistons qui translate devant un outil de graphitage fixe.

### Configuration 3



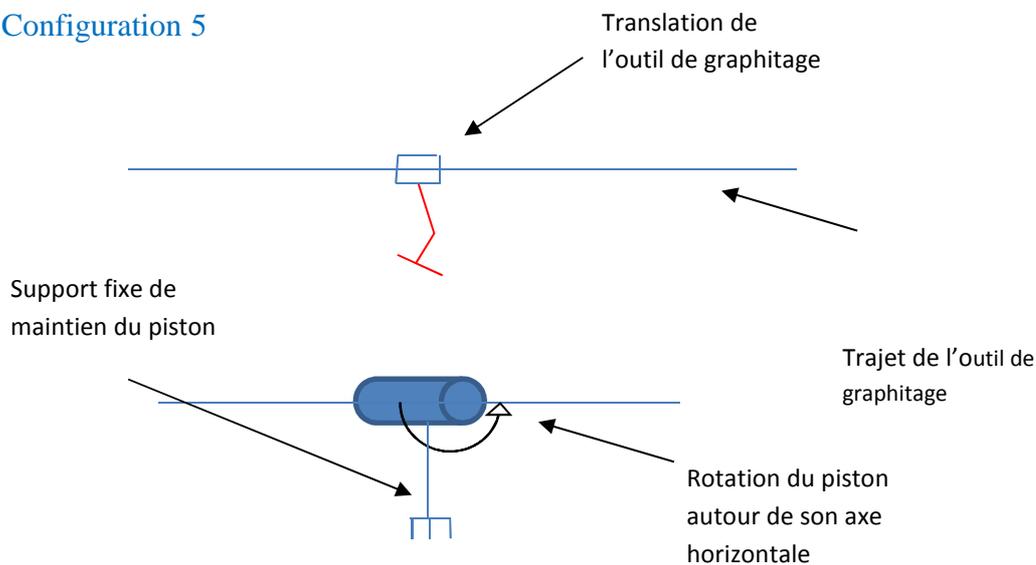
Une configuration circulaire est aussi possible avec rotation de l'outil de graphitage qui est maintenue au centre.

### Configuration 4



Un trajet elliptique peut être parcouru par les pistons en partant d'un poste de chargement et passant devant un outil de graphitage fixe, un mécanisme permet de faire tourner le piston autour de son axe lors du passage devant l'outil.

### Configuration 5



Le principe de cette configuration se distingue des autres par la nature de maintien du piston qui peut tourner autour de son axe sans que le mécanisme de maintien tourne.

### Comparaison des configurations

Chacune des configurations à ses propres caractéristiques qui simplifient un côté de la conception, que ce soit au niveau de la simplicité d'utilisation ou d'autres aspects.

On compare les configurations suivant leur remplissage de critères importants suivants en mettant un + devant celle ou celles qui remplissent pleinement le critère. Le Tableau 12 résume les résultats de cette comparaison.

Configuration	Config 1	Config 2	Config 3	Config 4	Config 5
<b>Critère</b>					
Simplicité de réalisation	-	-	-	-	+
Dimensions du prototype	+	-	-	+	+
Minimisation de la charge à mouvoir	+	-	+	-	+
Moins d'encombrement	-	+	+	-	+
Facilité de graphitage	+	-	-	-	+
Nouveauté du prototype	-	-	-	-	+

Tableau 12 : Comparaison des configurations

La comparaison montre que la meilleure configuration à développer est la configuration 5, un choix qui a été validé avec le client ; on la garde donc pour la suite de l'étude et on cherche à l'améliorer.

### 3-1-5 : Cahier des charges fonctionnel

Le cahier des charges contient des spécifications fonctionnelles définies pour certaines fonctions qui ont pu être formulées sous forme de spécifications, ces dernières sont des critères tous mesurables et s'appliquent à tous les concepts possibles.

Tableau 13 : Cahier de charges fonctionnel

No	Fonction	Type	Spécification	Définition	Niveau	Flexibilité
<b>F2</b>	<b>Maintenir le piston</b>	Sage	Nombre de degrés de libertés	Degrés de liberté après maintien du piston	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>F4</b>	<b>Etre durable</b>	Estime	Temps d'occupation journalier	Le temps pendant lequel la machine fonctionne par jour	<b>8h</b>	<b>Min</b>
			Première panne	Temps coulé avant la première panne de la pièce la plus sensible	<b>8 mois</b>	<b>Min</b>
			Durée de vie de la machine	Durée de vie souhaitée pour le système en générale	<b>5 ans</b>	<b>Min</b>
<b>F10</b>	<b>Facilite le maintien précis du piston</b>	usage	Hauteur de la place de maintien du piston	La hauteur permettant de bien fixer le piston mesuré à l'aide d'un mètre	<b>1 m</b>	<b>Max</b>
			Temps de maintien	Temps que prend la fixation d'un piston chronométré	<b>10 s</b>	<b>Max</b>
			Angle de déviation	L'angle entre l'axe du piston et celui de fixation après maintien mesuré par un rapporteur	<b>3°</b>	<b>Max</b>

Tableau 14 : Suite cahier de charges fonctionnel

No	Fonction	Type	Spécification	Définition	Niveau	Flexibilité
F16	Répartir le graphite sur la jupe du piston	Usage	Temps de graphitage d'un piston	Temps suffisant pour graphiter un piston chronométré	12 s	Max
			Nature de la couche	Épaisseur de la couche déposée mesuré par un Permascope	2,8 $\mu$	$\pm 0,3$
			Rotation du piston	Nombre de tour du piston pour être graphité	2 tr	Max
F24	permettre l'installation dans l'espace disponible	Contrainte	Dimensions	Longueur	1,5m	Max
				Largeur	1,2m	
				hauteur	1,3m	
F41	Mouvement de l'outil et/ou le piston		Course de l'outil	Distance de translation horizontale de l'outil	1,2 m	Max
				Distance de translation de descente de l'outil	0,2 m	Max
			Vitesse avance de l'outil	Vitesse de l'outil en translation horizontale ou de descente	0,05 m/s	Max
			Précision position d'arrêt de l'outil	Erreur de positionnement	0,2 mm	Max
			Rotation du piston	Vitesse de rotation du piston sur son axe	12 tr/min	

### 3-1-6 : Notes à la conception

C'est un élément principal du cahier des charges qui tient compte du reste des fonctions qui ont été retenues à la fin de l'analyse fonctionnelle et qui ne peuvent pas être traduites par des spécifications. Ces fonctions traduisent en générale des critères de conception intéressants, qui serviront à guider la conception sans être nécessairement respectées et donc pour ces raisons il est souhaitable de les garder en mémoire.

Ces notes sont des critères secondaires pour sélectionner les meilleurs concepts

Tableau 15 : Notes à la conception

No	Fonction	Commentaire
F6	Empêcher le graphite de rentrer par le trou d'axe du piston	Un mécanisme doit bouchonner le trou d'axe ou utiliser un outil avec lequel on peut ne pas bouchonner le trou
F8	ne pas endommager le piston	
F14	Permettre à l'opérateur de monter et démonter facilement les pistons	Un mécanisme de maintien simple facilite le montage et le démontage du piston
F15	permettre à l'opérateur de s'assurer du bon maintien du piston	Le mécanisme du maintien du piston doit permettre de visualise les fixations du piston
F18	permettre de couvrir la jupe du piston	Un mouvement du piston autour de l'outil à une distance convenable permet de couvrir la jupe
F19	protéger l'opérateur de l'effet du graphite	Le système doit être équipé d'un capot de protection couvrant la zone ou sont graphité les pistons
F20	permettre à l'opérateur de suivre le processus du graphitage à partir du poste de travail	Une zone transparente du capot de protection pour permettre de suivre le processus

Tableau 16 : Suite Notes à la conception

No	Fonction	Commentaire
F23	utiliser la source d'alimentation électrique conventionnelle disponible	
F28	ne pas laisser échapper du graphite dans le poste de travail	Un capot de protection avec une zone transparente empêche le graphite d'échapper dans le poste
F30	Posséder une commande de mise en marche	Après la mise sous tension et le maintien des pistons, un mécanisme de mise en marche doit permettre de commencer et finir l'opération de graphitage, des boutons seront compatibles
F31	Etre simple à utiliser	Un fonctionnement qui se limite essentiellement à la mise sous tension, maintien du piston, mise en marche (débuter l'opération) et le démontage du piston simplifie l'utilisation du système
F32	Contrôler la quantité du graphite appliquée	La quantité appliquée sur le piston doit être contrôlée, un appareil de contrôle doit être utilisé
F35	Masquer la tête du piston du dépôt du graphite	
F37	Ne pas demander une formation de l'opérateur	
F40	Posséder un bouton d'arrêt d'urgence	Le système n'est pas automatisé mais un bouton d'urgence (rouge et rond) doit permettre de couper ou arrêter immédiatement l'alimentation électrique
F45	permettre la mise sous tension	Le système doit pouvoir être mis sous tension en premier même s'il n'est pas utilisé, un bouton poussoir peut être utilisé

### 3-2 : Emergence et convergence des concepts

Dans cette étape de conception l'objectif est de chercher des concepts qui répondent au cahier des charges fonctionnel, les analyser et en sélectionner les meilleurs concepts adaptés au projet, qui vont être développés et qui doivent avant tout respecter les contraintes posées. Avant de commencer à rechercher et sélectionner les concepts, il a été décidé de porter l'étude pour le moment seulement sur les trois sous-systèmes, sous-système de maintien du piston, sous-système de masquage de la surface à ne pas graphiter et le sous-système de répartition de la couche du graphite ; et laisser le concept du sous-système de protection après car il sera simplement trouvé.

#### 3-2-1: Choix technologiques possibles

Cette partie concerne essentiellement le sous-système de répartition de la couche du graphite car son concept est déjà défini par la configuration du système.

Le tableau 17 résume des choix technologiques proposés pour les mouvements des éléments de ce sous-système, compatibles avec la configuration du système et les contraintes du coût du prototype.

Tableau 17 : Choix technologiques possibles

sous-système de répartition de la couche du graphite	mouvement de l'outil	Glissière	Tige + palier pour douille de guidage	Rail de guidage à galet	Arbre cannelé	Rail + guidage linéaire à bille
		Entraînement	Vis à bille	Pignon crémaillère	Roue et vis sans fin	
	Mouvement du piston	Accouplement	Roue et vis sans fin	Chaîne + roue dentée	Roue pignon	Servomoteur
		Guidage en rotation	Roulement	Palier	Couronne	Coussinet (palier lisse)
	Déplacements	Les mouvements seront réalisés à l'aide des moteurs électriques				
	Course de l'outil	Course de l'outil : La course sera limitée à l'aide des capteurs de fin de course				

### 3-2-2 : Générations des concepts

Cette étape est une phase de divergence qui consiste à ressortir le nombre maximal possible des concepts sans nécessairement s'intéresser à leurs valeurs.

Une phase de recherche intuitive qui s'étalait sur quatre jours et aussi en parallèle avec les autres phases précédentes du projet a permis de générer une quantité intéressante des concepts .

Afin de structurer cette recherche pour qu'elle soit efficace nous l'avons abordée suivant la méthode de la matrice morphologique, dont les résultats sont présentés dans le tableau 18.

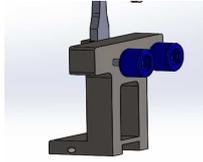
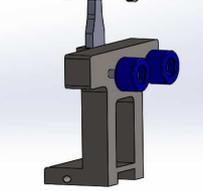
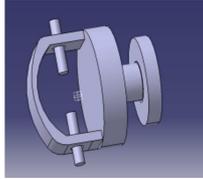
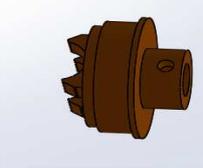
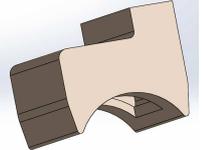
SOUS-SYSTÈME	FONCTIONS	CONCEPT 1	CONCEPT 2	CONCEPT 3
sous-système de maintien du piston	<b>F2</b> Maintenir le piston	Galet + Tête de fixation 	Mini mandrin	Galet + Tête complémentaire du piston 
	<b>F10</b> Facilite le maintien précis du piston			
	<b>F14</b> Permettre à l'opérateur de monter et démonter facilement les pistons			
sous-système de masquage de la surface à ne pas graphiter	<b>F6</b> Empêcher le graphite de rentrer par le trou d'axe du piston	Bouchon conique avec ressort + Bague 	Tête arquée 	Bouchon cylindrique + Tôle arquée 
	<b>F35</b> Masquer la tête du piston du dépôt du graphite			
sous-système de répartition de la couche du graphite	<b>F40</b> Tenir un outil de graphitage	Pistolet de graphitage	Rouleau 	

Tableau 18 : Matrice morphologique

A partir de la matrice morphologique on peut tirer 18 combinaisons possibles, mais un premier tri de ces combinaisons permet d'en éliminer celles incompatibles ainsi on élimine les concepts non réalisables ou a priori jugés les plus difficiles. Le tableau 19 contient les combinaisons compatibles.

Par exemple le concept : Bouchon conique avec ressort + Bague pour masquer n'est pas compatible avec rouleau pour répartir la couche du graphite

Tableau 19 : Les combinaisons compatibles

No	Combinaisons		
	sous-système de maintien du piston	sous-système de masquage de la surface à ne pas graphiter	sous-système de répartition de la couche du graphite
C1	Galet + Tête complémentaire du piston	Bouchon conique avec ressort + Bague	Pistolet
C2	Galet + Tête de fixation	Tête arquée	Rouleau
C3	Galet + Tête complémentaire du piston	Bouchon cylindrique + Tôle arquée	Pistolet
C4	Galet + Tête de fixation	Bouchon conique avec ressort + Bague	Pistolet
C5	Galet + Tête complémentaire du piston	Tête Arquée	Rouleau
C6	Galet + Tête complémentaire du piston	Bouchon cylindrique + Tôle arquée	Pistolet

## Choix des concepts par la méthode de PUGH

Après avoir gardé une quantité de combinaisons des concepts pour lesquels il s'emblait pas avoir des incompatibilités entre les concepts de leurs sous-ensembles, la méthode de PUGH permet de comparer ces concepts entre eux en sélectionnant des critères de comparaison provenant essentiellement du cahier de charges et la note à la conception et en choisissant un concept de référence par apport aux quel seront comparés les autres appelé DATUM, afin de retenir les concepts les plus forts pour chaque sous-système.

Dans cette matrice les signes « + », « s » et «-» indiquent respectivement que le concept est mieux, semblable ou inférieur au **DATUM** pour le critère sélectionné.

Tableau 20 : Matrice de PUGH

Concept Critère	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Facilité de réalisation	+	-	D	s	+	+
Cout du prototype	S	-	A	s	+	+
Temps de graphitage	-	+		-	+	S
Facilité de manipulation	-	S	T	-	+	+
Précision de masquage de la surface à ne pas graphiter	+	-	U	+	+	S
Respect des autres contraintes du projet	-	-	M	-	+	S
Favorisation de la Précision de graphitage	S	S		s	+	S

Tableau 21 : Suite Matrice de PUGH

Concept Critère	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Facilité de montage et démontage du piston	-	-	<b>D</b>       <b>A</b>    <b>T</b>    <b>U</b>    <b>M</b>	-	+	+
Facilité de panne	-	-		-	+	+
Favoriser le maintien précis du piston	-	-		-	s	S
Utilisation des pièces standards	+	-		-	s	-
Durée de vie du prototype	-	+		-	+	+
Temps de réalisation du prototype	+	-		-	s	S
$\sum^+$	4	2		1	10	6
$\sum^s$	2	2		3	3	6
$\sum^-$	7	9		9	0	1

En analysant la matrice de PUGH on voit clairement que le concept le plus performant et qui remplit mieux les critères est le concept 5. On le rétien donc pour le reste de l'étude.

### 3-2-3 : Concepts retenus pour les sous-systèmes

Après la recherche et la sélection des concepts voici les concepts qui ont été retenus pour

chaque sous système.

❖ Sous-système de maintien du piston

Le piston est maintenu en se reposant par sa tête sur deux galets avec lesquels son contact est radial, un autre appuie ( butée) sur le centre de la tête pour empêcher sa translation suivant son axe sans gêner sa rotation autour de son axe et puis une tête conçue comme pièce complémentaire du piston vient le fixer de l'autre côté, la figure 13 montre le mécanisme de maintien du piston.

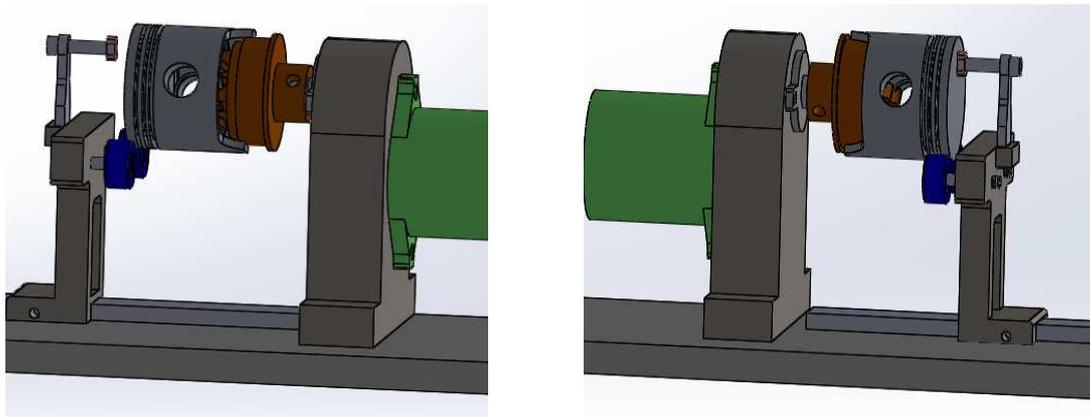


Figure 13 : concept retenu pour mécanisme de maintien du piston

❖ Sous-système de masquage de la surface à ne pas graphiter

La surface à ne pas graphiter est simplement masquée à l'aide d'une tête creuse arquée qui vient se coïncider avec le piston suivant un arc, ainsi elle permet de masquer la tête sans avoir besoin de boucher le trou d'axe car le rouleau graphite ou dépose la couche du graphite par contact(adhérence). La figure 14 montre le schéma du mécanisme de masquage.

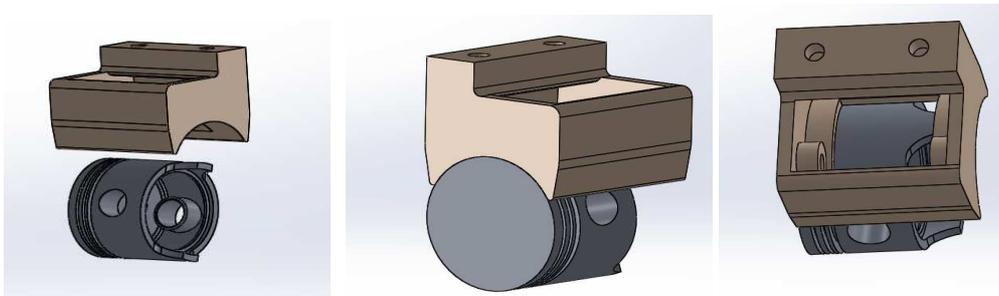


Figure 14 : concept retenu pour le mécanisme de masquage

## ❖ Sous-système de répartition de la couche du graphite

Un rouleau à jet de graphite (même principe que le jet de peinture) alimenté en graphite, fixé avec la tête de masquage et en contact radiale avec la surface de la jupe du piston permet avec la rotation du piston autour de son axe de déposer une couche uniforme du graphite par adhérence sur la jupe. La figure 15 montre le concept.

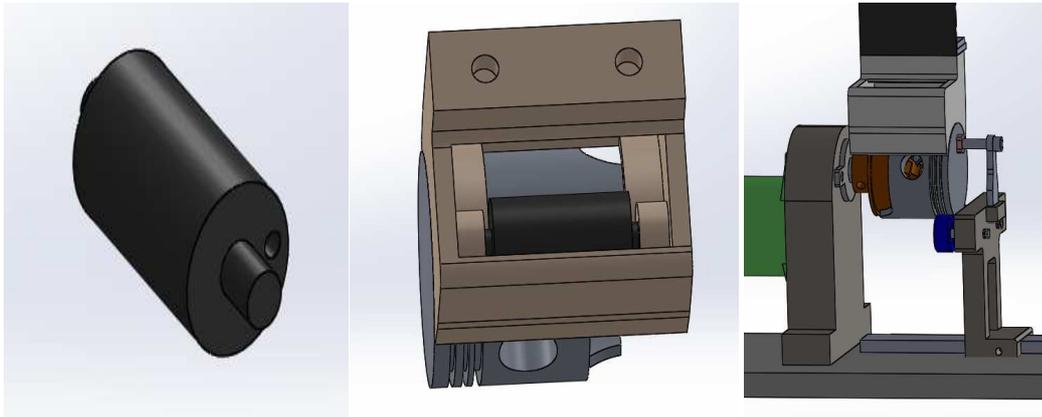


Figure 15 : concept retenu pour le mécanisme de répartition de la couche du graphite

✚ Concept global final

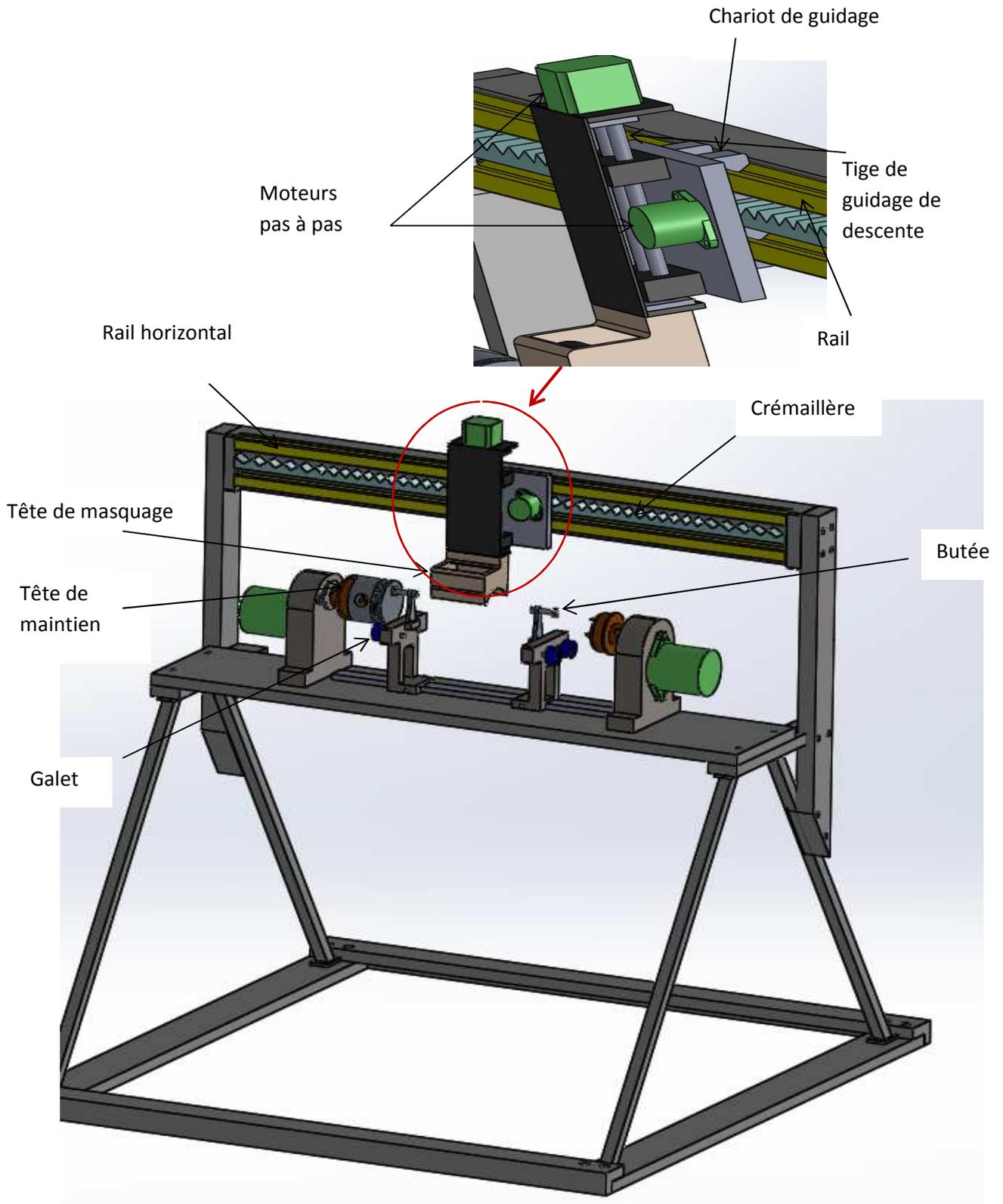
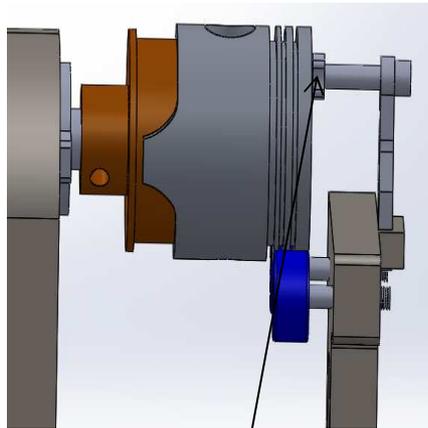


Figure 16 : Concept global final

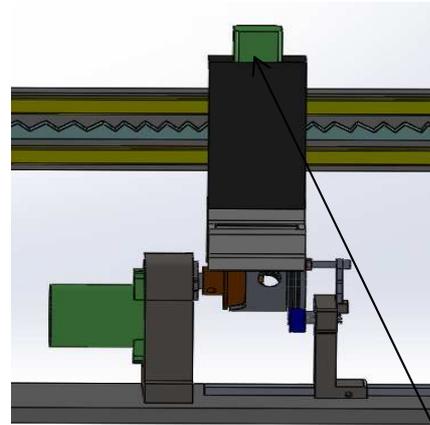
Procédure de graphitage des pistons

**1** Maintien du piston



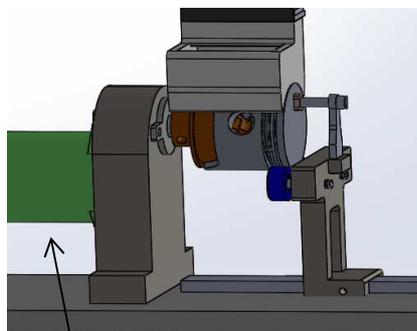
Blocage avec butée

**2** Masquage



Manipulation des moteurs de déplacement de la tête de masquage

**3** Graphitage



Manipulation de l'outil de graphitage et le moteur tournant le piston

**4** Piston graphité

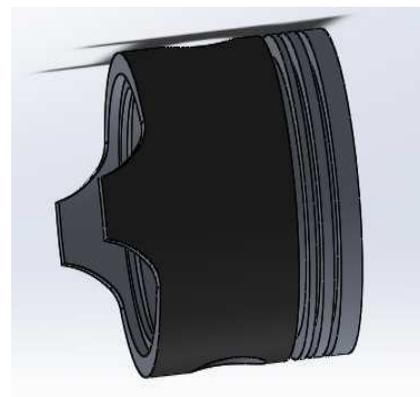


Figure 17 : Procédure de graphitage

## Chapitre 4 :

### Conception, dimensionnement et choix des éléments

« Ce chapitre détaille les concepts choisis dans le chapitre précédent : le choix des technologies, des matériaux et des composants en fonction de ces concepts retenus, des spécifications du cahier de charges et des contraintes du projet avec les justificatifs appuyant ces choix »

Dans cette section seulement les éléments critiques du système seront détaillés par les dessins, calculs analytiques, les justifications, et la simulation et validation des résultats.

#### 4-1 : Rappel des principales spécifications

Tableau 22 : Principales spécifications

Description	Niveau	Flexibilité
Nature de la couche	<b>2,8 <math>\mu</math></b>	<b><math>\pm 0,3</math></b>
Vitesse de rotation du piston sur son axe	<b>12 tr/min</b>	
Temps de graphitage d'un piston	<b>12 s</b>	<b>Max</b>
Précision position d'arrêt de l'outil	<b>0,2 mm</b>	<b>Max</b>
Temps de maintien	<b>10 s</b>	<b>Max</b>
Course de l'outil : distance de translation horizontale de l'outil	<b>1,2 m</b>	<b>Max</b>
Course de l'outil : distance de translation de descente de l'outil	<b>0,2 m</b>	<b>Max</b>
Vitesse avance de l'outil : Vitesse de l'outil en translation horizontale ou de descente	<b>0,05 m/s</b>	<b>Max</b>

#### 4-2 : La tête de maintien

C'est un élément majeur du système car elle conditionne son fonctionnement et doit être conçu en se basant sur les dimensions du piston

## 4-2-1 : Géométrie 3D

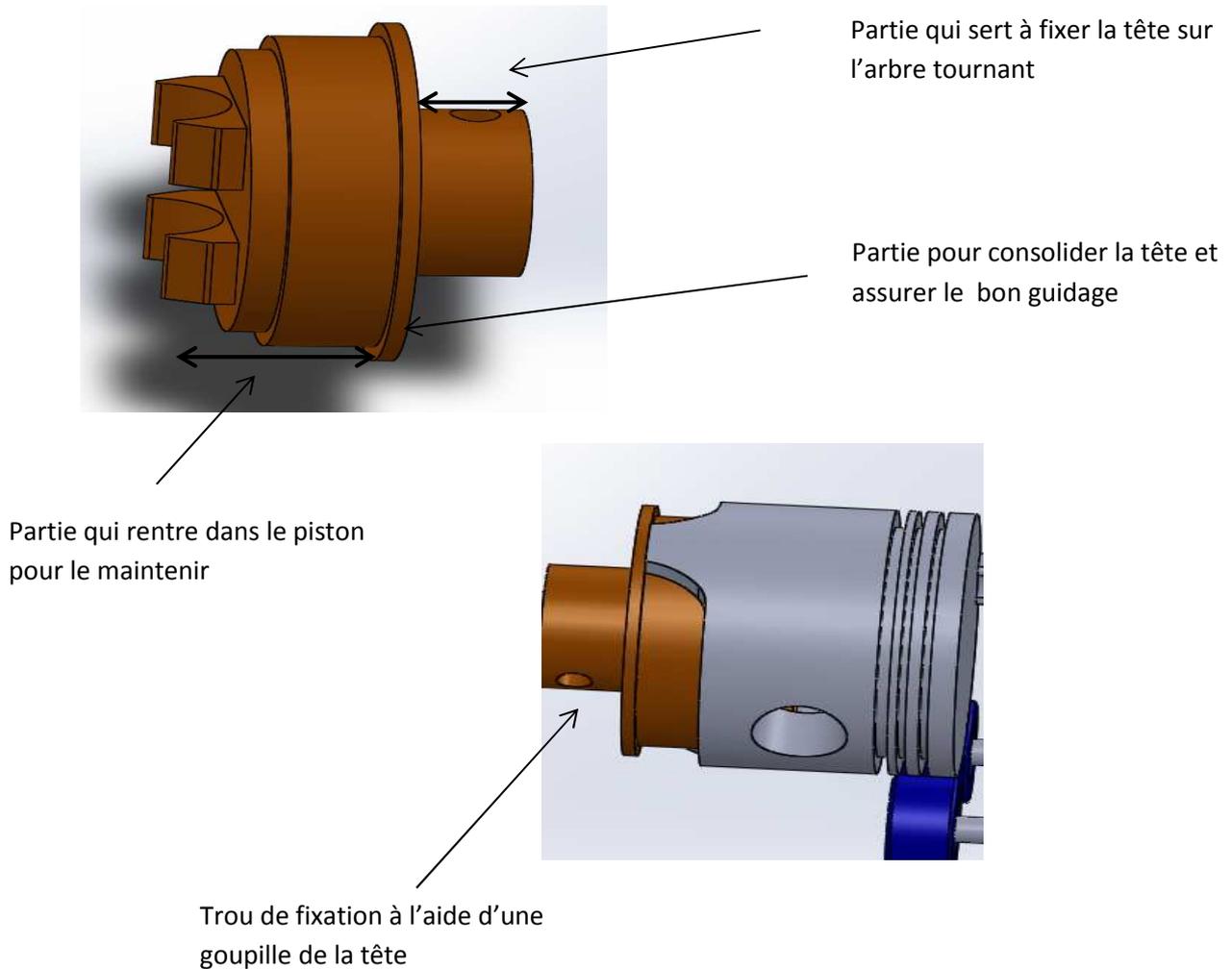


Figure 18 : Géométrie 3D de la tête de maintien

## 4-2-2 : Matériau et fabrication

La tête est usinée comme étant une pièce complémentaire de la partie avant du piston en se basant sur le dessin du piston avec un jeu qui permet de la faire rentrer dans le piston tous en restant serré sur ce dernier, un matériau associant certaines bonnes propriétés mécanique et chimique doit être utilisé pour cet élément majeur. Le matériau de la tête est imposé par le client.

Tableau 23 : Matériau de la tête de maintien

Matériau	Type	Ertalon 6 SA
	Masse volumique	1120 kg/m <sup>3</sup>
	Limite élastique	103,65 MPA
	Module de cisaillement	970,4 MPA
	Propriétés Générales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Matériau "universel" pour la construction mécanique</li> <li>- Haute résistance mécanique, rigidité, dureté et ténacité</li> <li>- Bonne résistance à la fatigue</li> <li>- Bonnes propriétés de glissement</li> <li>- Excellente résistance à l'usure</li> <li>- Bonne usinabilité</li> </ul>

### 4-3 : Tête de masquage

Elle sera en contact avec le piston pendant sa rotation de telle sorte que le rouleau de graphitage ne soit en contact qu'avec la surface de la jupe sans toucher la tête du piston.

#### 4-3-1 : Contraintes et géométrie 3D

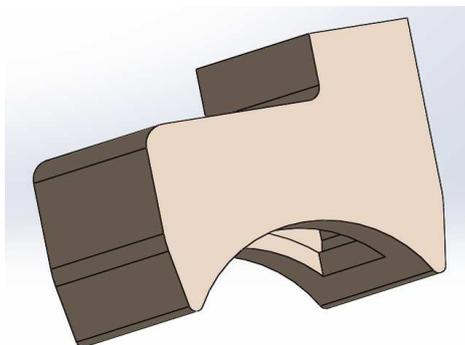
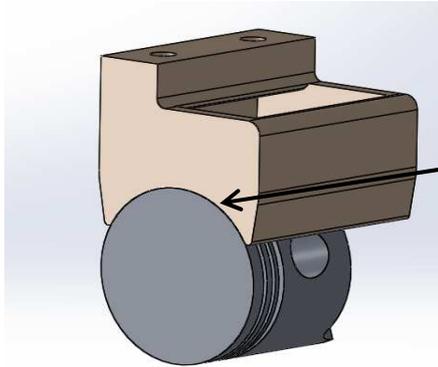


Figure 19 : Géométrie 3D de la tête de masquage

La tête de masquage avec la géométrie 3D choisi doit respecter les contraintes de dimensions suivantes

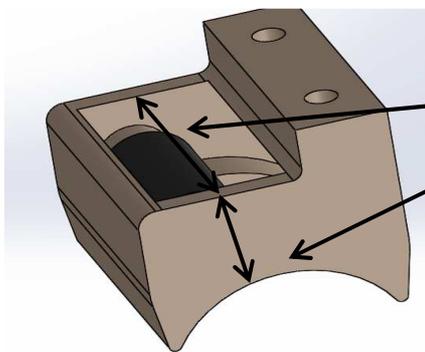
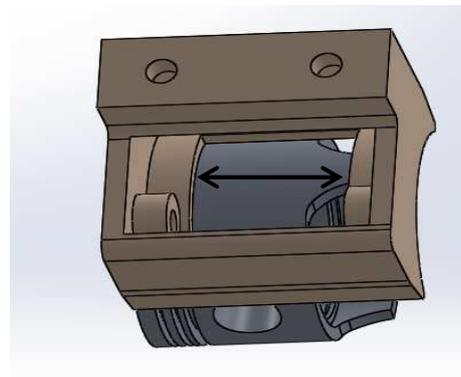


L'arc de la tête doit être celui d'un cercle de diamètre égal au diamètre du piston + un jeu pour le positionnement et précision de masquage, soit un jeu de 0,1 mm

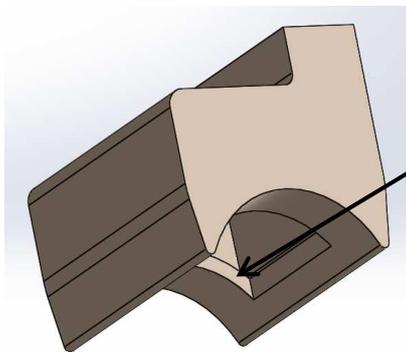
Donc  $D = 77 + 0,1 \times 2 = 77,2 \text{ mm}$

La longueur de la partie creuse doit être égale à la longueur de la jupe du piston

Soit  $L = 51 \text{ mm}$



Ces distances doivent permettre de rattacher le rouleau de graphitage de diamètre d'environ 38 mm



Cette épaisseur doit supporter la charge induit par la rotation du piston qui est très faible

On prend  $e = 5 \text{ mm}$

Figure 20 : images de la tête de masquage avec les contraintes de dimension

A part ces contraintes Il y'a pas d'autres conditions particulières sur les autres dimensions sauf qu'elles doivent être minimisé le maximum possible

#### 4-3-2 : choix des autres dimensions non définies

On va choisir arbitrairement des dimensions pour les grandeurs non definies ainsi que les paramètres necessaires au dimentionnement afin de définir complètement la tête

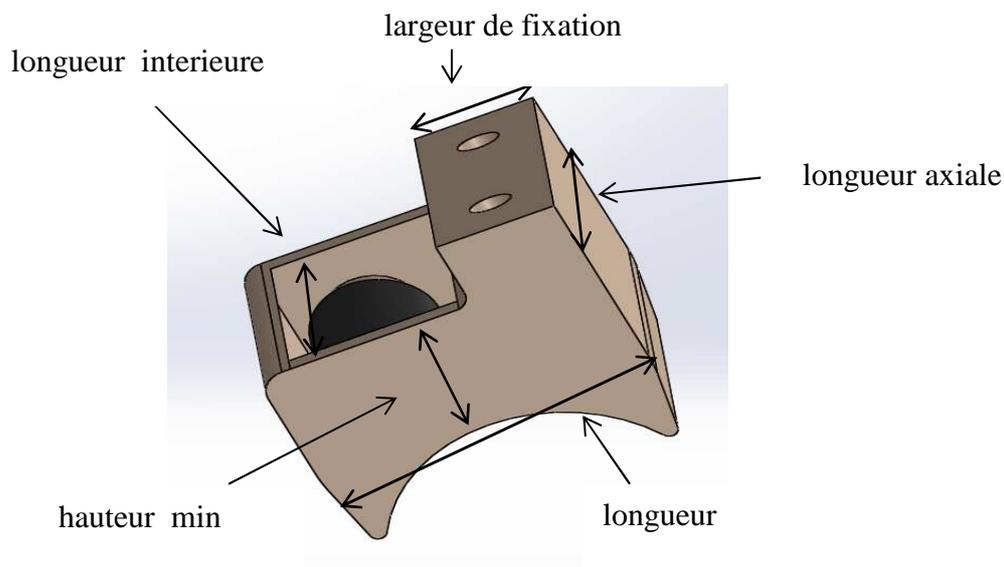


Figure 21 : Tête de masquage avec les dimensions choisies

Tableau 24 : Dimensions de la tête de masquage

Grandeur	Nature
hauteur min = 60 mm	Choisi
Longueur = 91,2	Choisi
largeur de fixation = 35mm	Choisi
Longueur interieure = 110 mm	Choisi
Longueur axiale = 120 mm	Choisi
L = 51	Imposé
D = 77,2	Imposé
e = 5mm	Choisi

Le matériau de la tête de masquage est choisi selon une importante critère, qui est de diminuer l'effet du frottement engendré par le contact permanent entre la tête et le piston pendant la rotation de ce dernier ; et pour ne pas influencer la nature de l'état de surface de la tête du piston qui est en contact avec. Ce matériau était aussi imposé comme celui de la tête de maintien.

Tableau 25 : Matériau de la tête de masquage

Matériau	Type	Alliage cuivre CuSn7Pb6Zn4 (cuivre étain)
	Limite élastique	110,3 MPA
	Masse volumique	8300 kg/m <sup>3</sup>
	Autre propriétés générales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- par excellence bronze de la mécanique générale</li> <li>- très utilisé pour les pièces de frottement (vitesse et pression moyennes), les coussinets, bagues et glissières</li> <li>- bonne résistance à l'usure par frottement</li> <li>- prix économique</li> </ul>

#### 4-3-3 : Mise en plan

La feuille de l'annexe A montre la mise en plan du dessin de la tête de masquage

#### 4-4 : Autre composants du système

##### Châssis fixe :

Il sert à supporter les sous-systèmes de la machine (bâti), et il doit assurer la stabilité du système. Il est réalisé à l'aide des poutres d'acier d'usage courant, de sections rectangulaires avec des trous de fixation pour réaliser l'assemblage.



Profilés pleins standards en acier

Figure 22 : Châssis fixe de la machine

#### Dimensions

La longueur est la distance suivant laquelle sont fixés les mécanismes de maintien du piston sur le système elle dépend de leur nombre et de leurs dimensions, avec un chargement manuel des pistons, le nombre optimal de mécanisme de maintien à fixer sur le système est de deux avec une longueur maximale de 450 mm de chacun, on prend les dimensions suivants qui respectent bien les valeurs maximales du cahier de charges fonctionnel.

Longueur = 1015 mm

Largeur = 1070

Hauteur = 1038

Tableau 26 : Matériau du châssis fixe

Matériau	Type	Acier 1020
	Module de Young	207 GPa
	Limite élastique	310 MPa
	Rigidité en cisaillement	79 GPa
	Masse volumique	7800 Kg/m <sup>3</sup>

#### 4-5 : Choix du Moteur du piston

Deux types majeurs de moteurs électriques sont généralement utilisés dans ce type de systèmes, les moteurs pas à pas et les servomoteurs qui ont des modes de fonctionnement différents.

Pour des raisons de qualité de la couche du graphite la vitesse de rotation du piston autour de son axe doit être constante et environ 12 tr/min, pour ces raisons un moteur pas à pas sera plus adapté à utiliser pour réaliser cette rotation car d'une part ces moteurs sont plus facile à intégrer au contrôleur, ils développent leur couple maximal à basse vitesse (figure 23) et d'autre part un moteur pas à pas et son variateur de vitesse est moins couteux qu'un servomoteur.

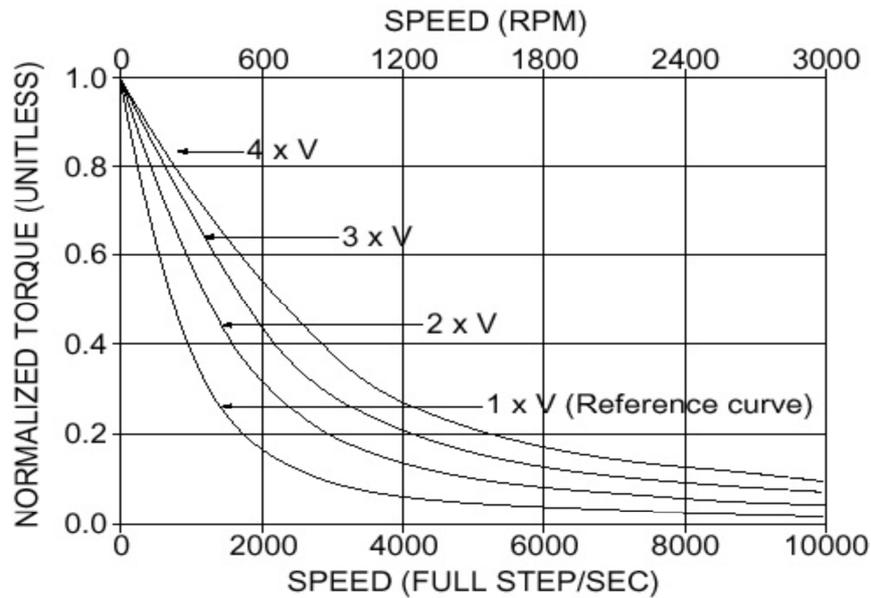


Figure 23 : Courbe de puissance d'un moteur pas à pas

Pour choisir le moteur on calcule le couple nécessaire pour réaliser cette rotation

### Hypothèses

La tête et le piston sont équivalents à un cylindre plein qui tourne sans frottement (négligé), et avec les mêmes dimensions que l'ensemble piston attaché avec la tête

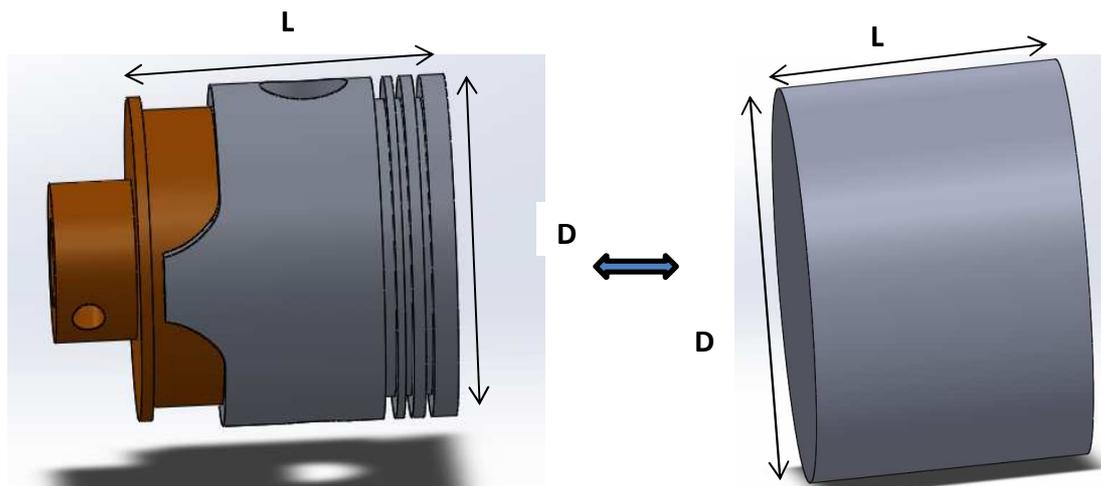
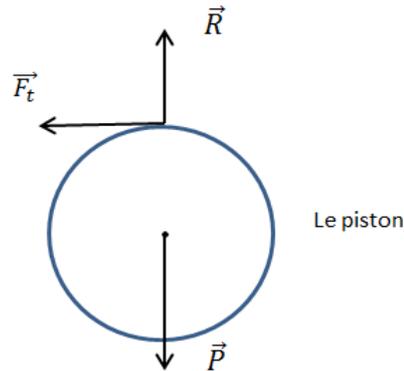


Figure 24 : Modélisation de l'ensemble piston + tête par un cylindre

Dans le cas statique, la force  $R$  nécessaire pour garder en équilibre le piston est pratiquement égal au poids  $P$  du piston.



La force tangentielle à exercer pour tourner le piston doit être supérieur ou égal à la force  $R$ .

$$F_t \geq R = P = mg$$

Le couple est donné par la relation

$$C = F_t \times r \quad \text{donc} \quad C \geq mgr$$

Avec :  $m$  la masse du cylindre,  $r$  son rayon et  $g$  la constante de gravité

La masse du cylindre est telle que

$$m = \rho v = \pi r^2 L \quad \text{Avec : } L \text{ la longueur du cylindre}$$

$$\text{Finalement on a} \quad C \geq \pi g r^3 L$$

On arrondi la masse volumique par celle du matériau de la tête de maintien car c'est la plus grande parmi les deux masses volumiques (masse volumique de la tête et celle du piston)

$$\rho = \rho_{alu AS12} = 2650 \text{ kg/m}^3$$

A.N :

Avec  $L = 78 \text{ mm}$  (longueur totale) on a :

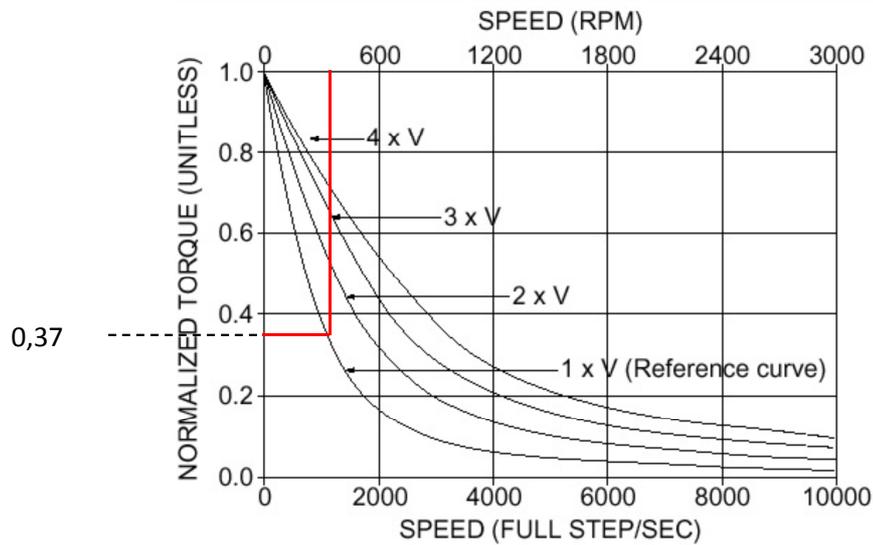
$$C \geq 0,37 \text{ Nm}$$

La puissance est  $P = C w$  , avec  $w = 12t_r / \text{min} = 1,256 \text{ rad/s}$

$$\text{Donc} \quad P \geq 0,37 \times 1,256 = 0,4647 \text{ w}$$

Cette puissance est la puissance minimale.

Donc le choix final, d'après la courbe est l'allure  $1xV$ , avec l'utilisation d'un variateur de vitesse.



#### 4-6 : Dimensions et choix des galets de guidage

Les galets ne servent qu'à guider le piston durant sa rotation, la charge qu'il supporte est faible et est autour du poids du piston, par contre l'épaisseur du galet ne doit pas être grand car le contact est seulement suivant une distance inférieure à la longueur de la tête du piston pour ne pas atteindre la surface de la jupe et ne pas avoir une épaisseur qui sert à rien, et un diamètre petit par rapport à celui du piston sera plus convenable pour la rotation.

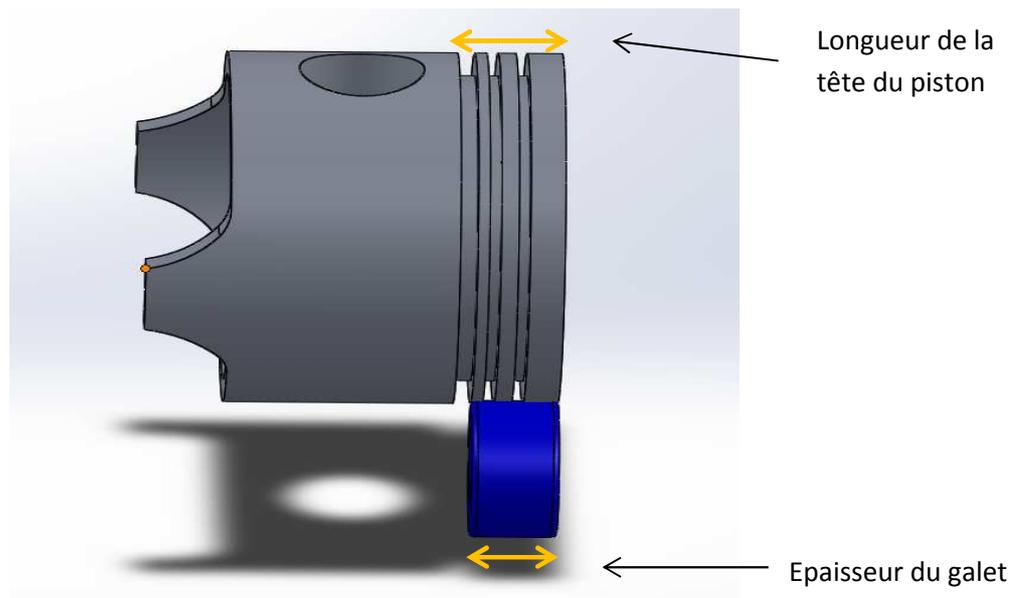


Figure 25 : Position du galet par rapport au piston

Ainsi on choisit un galet avec les dimensions suivantes, avec une capacité de charge sécuritaire ( $C > 2600$  N en dynamique) et équipé d'un goujon vissé permettant de le fixer sur son support, et de même matériau que la tête de masquage pour les mêmes raisons du frottement

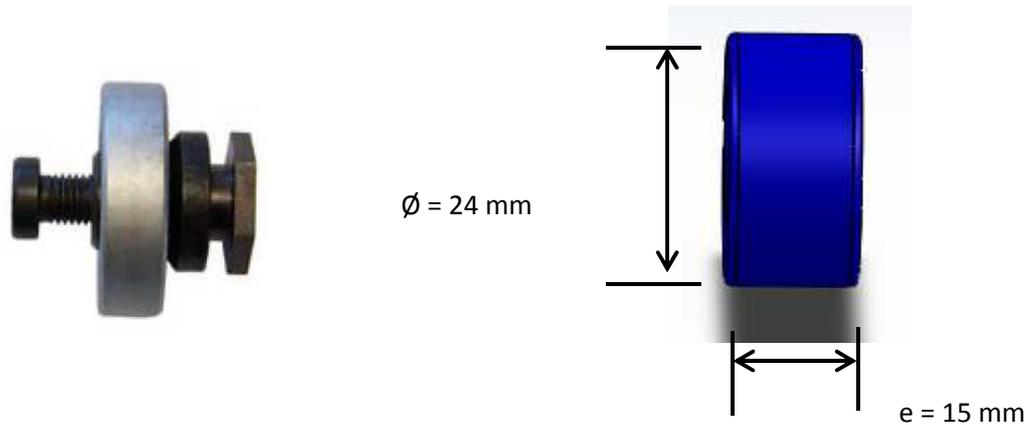


Figure 26 : Dimensions retenues pour le galet

#### 4-6-1 : Entraxe des galets

L'entraxe doit avec la rotation du piston d'une part permettre d'empêcher la perte de contact assurée par l'effet du poids du piston entre ce dernier et les galets, et d'autre part ne pas laisser cet même effet du poids gêner la rotation du piston ; ces deux situations sont représentées approximativement par le schémas suivant.

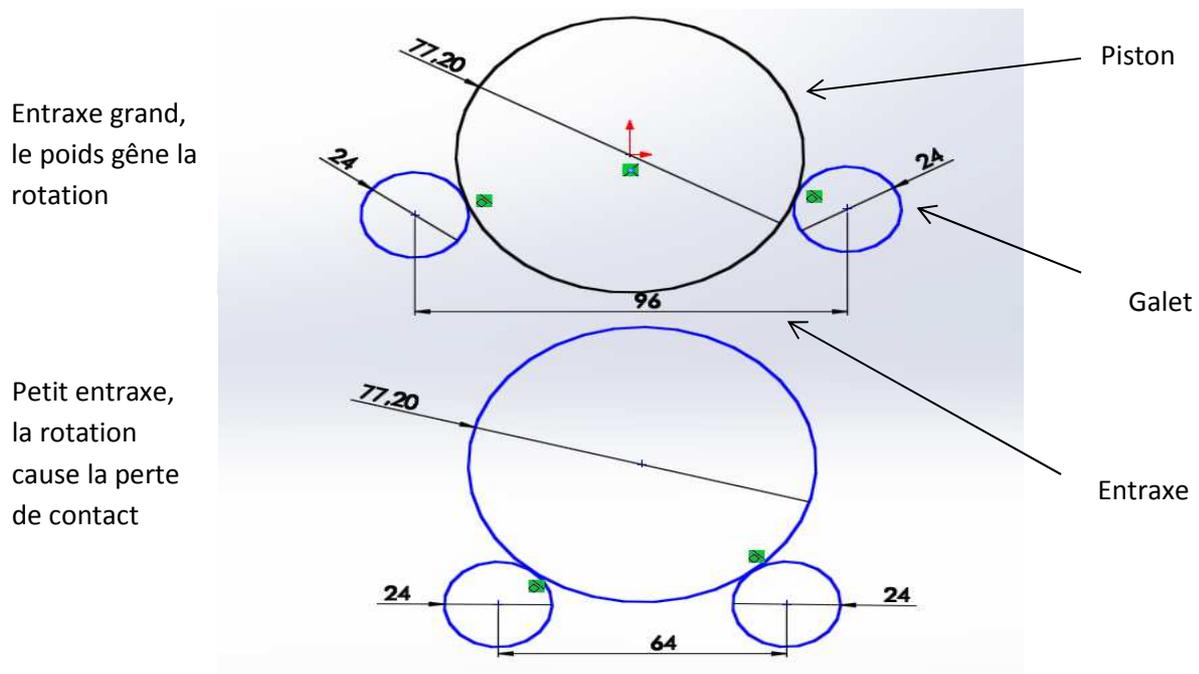
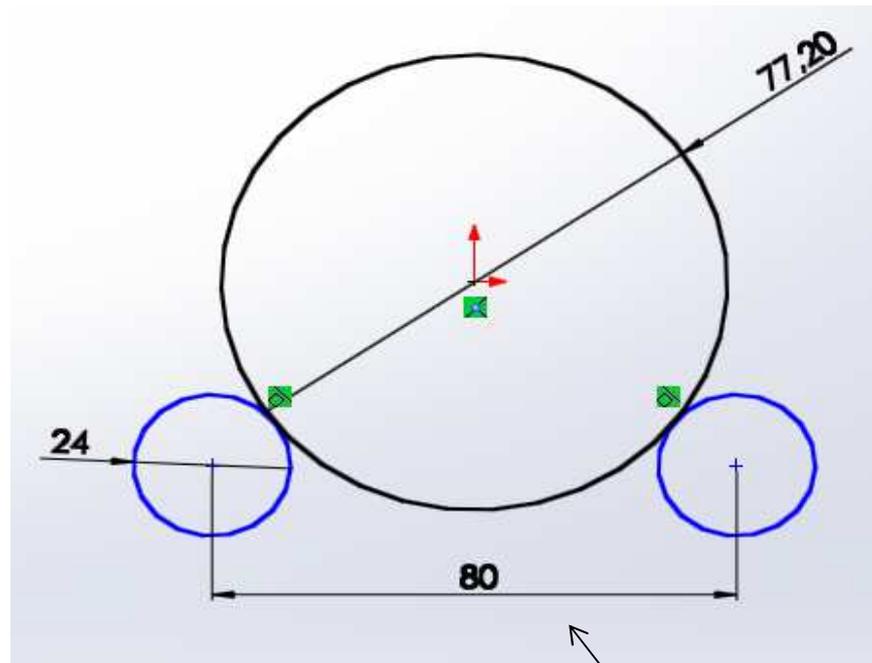


Figure 27 : Cas extrêmes de l'entraxe des galets

En effet le problème du poids a été pris en considération lors du choix du moteur et le rouleau de graphitage contribue au maintien par le contact et donc l'entraxe moyenne sera une valeur acceptable.



$$\text{Entraxe final} = (64 + 96)/2 = 80$$

Figure 28 : l'entraxe final des galets

#### 4-7 : Choix des éléments de guidage et de transmission

Etant donné que le masquage doit être précis, alors le système incorporera des pièces commerciales pour le guidage linéaire et la transmission de mouvement pour réaliser le mouvement de la tête de masquage et pouvant permettre d'avoir le degré de précision souhaité ( une erreur maximal de 0,2mm de deux cotés pour la précision de de la position d'arrêt de la tête sera acceptable) , d'autre coté la capacité de charge en dynamique même si la seule charge à mouvoir est celle de la tête, sera un facteur important pour la durée de vie du système.

Plusieurs choix technologiques sont disponibles proposés par plusieurs compagnies et respectent les contraintes du système, les concepts suivants ont été identifiés de bonne qualité, pouvant en plus respecter le budget du projet qui doit être minimisé, aussi la réputation des compagnies qui les proposent dans la fabrication et la vente des pièces des

systèmes automatisés et en fin la faciliter de les commander au Maroc .les figures 29 ,30 et 31montrent des exemples de ces produits et les annexes B et C montrent leurs caractéristiques.

### Mouvement de l'outil

- Glissière horizontale : Rail +guidage linéaire à bille (chariots)
- Transmission de mouvement horizontal (entraînement) : Pignon crémaillère



Figure 29 : Rail +guidage linéaire à bille



Figure 30 : Pignon crémaillère

- Glissière + Transmission de mouvement de descente : Axe linéaire avec vis à bille



Figure 31 : Axe linéaire avec vis à bille

## 4-8 : L'outil de graphitage

### 4-8-1 : Principe du jet de peinture

Le jet de peinture est une technique d'impression dont le principe s'apparente à celui d'une imprimante à jet d'encre (le seul procédé d'impression sans contact), ou une tête d'impression éjecte continuellement des gouttes de peinture pour inscrire des caractères et

des bandes sur un corps, les sortes de peinture utilisées dépendent du matériau imprimé et de la nature du fini recherché.

Ce procédé de jet de peinture connaît de nombreuses applications entre autre le marquage des produits, comme le marquage par jet de peinture pour l'industrie de l'aluminium et des pièces mécaniques et est également présent dans l'automobile et la construction aéronautique.

#### 4-8-2 : Rouleau à jet de graphite

Il a été mentionné lors du choix du concept final pour le sous-système de réparation de la couche du graphite après avoir orienté l'étude vers l'utilisation du principe de jet de peinture qu'un rouleau à jet de graphite sera utilisé pour graphiter le piston, cette solution est choisie pour ne pas utiliser le jet sans contact qui malgré la possibilité de marquer sur des surfaces irrégulières ne sera jamais convenable pour notre système à cause du chargement manuelle des piston ainsi que la variété de la gamme des dimensions de ces pistons ce qui rend difficile de masquer la surface à ne pas graphiter (trous d'axe et tête du piston) auxquels s'ajoute des contraintes du projet telles que la facilité du prototype et la minimisation de son cout.

Vu que le système est conçu pour inscrire une bande (film) de graphite sur la jupe du piston (surface d'un corps cylindrique en rotation) sans avoir besoin de masquer le trou d'axe. Un rouleau équipé d'un circuit de jet de graphite avec régulateur de pression lui permettant de retenir le graphite réparti sur sa surface extérieure, et pouvant le répartir uniformément par adhérence pendant une durée déterminée sur la jupe du piston en créant ainsi le film souhaité est la seule solution qu'on a trouvé adaptée à notre système, pratique et simple après une large recherche sur les technique et solutions pouvant être utilisées pour ce genre des problèmes. Le seul problème rencontré c'est que les rouleaux disponibles avec cette technique ne possèdent la surface extérieure du rouleau adapté à la nature de l'adhérence avec le piston, ce qui exige de demander aux fournisseurs un rouleau conçu personnalisé pour cette utilisation, et pouvant répondre aux autres conditions du projet notamment la cadence élevé et la longue durée d'utilisation.

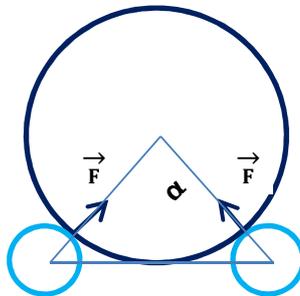
Cette solution pouvant grâce à ces deux axes (translation et montée/descente) graphiter dans le sens axiale du corps du piston et avec la rotation de ce dernier sera par la suite simplement adapté à tous les autres types de piston pouvant être commandés graphités.

#### 4-9 : Validation des résultats

Vu que la valeur maximale de rotation de la tête de maintien du piston est faible, est que cette valeur est imposée et ne peut être dépassée, et puisque les galets n'engendrent aucune résistance au roulement (résistance à la rotation du piston) ; alors l'effet de cette vitesse de rotation sur le comportement des éléments (tête de maintien et galets de guidage) est relativement faible ce qui rend raisonnable d'approcher les effets mécanique en dynamique par le cas statique.

##### Cas des galets

Les efforts auxquelles sont soumis les galets s'obtiennent à partir de l'étude de l'équilibre du piston



L'équilibre du piston donne, avec  $\vec{P}$  le poids du piston et  $\vec{R}$  la force exercée par la tête de maintien sur le piston

$$2\vec{F} + \vec{P} + \vec{R} = \vec{O}$$

En projetant suivant l'axe vertical on obtient

$$2F \cos(\alpha/2) + R - P = 0 \text{ avec } \cos(\alpha/2) = 0,6499 \text{ (voir Annexe E)}$$

$$F = (P - R)/1,2998 \text{ (équation à deux inconnues)} \quad (1)$$

Mais puisque notre objectif ce n'est pas de calculer la valeur exacte de  $F$  on peut majorer sa valeur et prendre

$$F = P / 1,2998 = 1,23/1,2998 = 0,946 \text{ N (valeur supérieur à la valeur réelle de } F)$$

##### Cas de tête de maintien

Pour la tête de maintien en cas dynamique elle est doit être soumise au couple

$$C = \geq 0,37 \text{ Nm soit } C_1 = 0,45 \text{ Nm}$$

On s'intéresse ici à la contrainte, et on suppose que la tête est encastree du côté de l'arbre et soumise au couple résistant  $C_1$  de l'autre côté.

Une simulation sur le logiciel SolidWorks donne les résultats suivants.

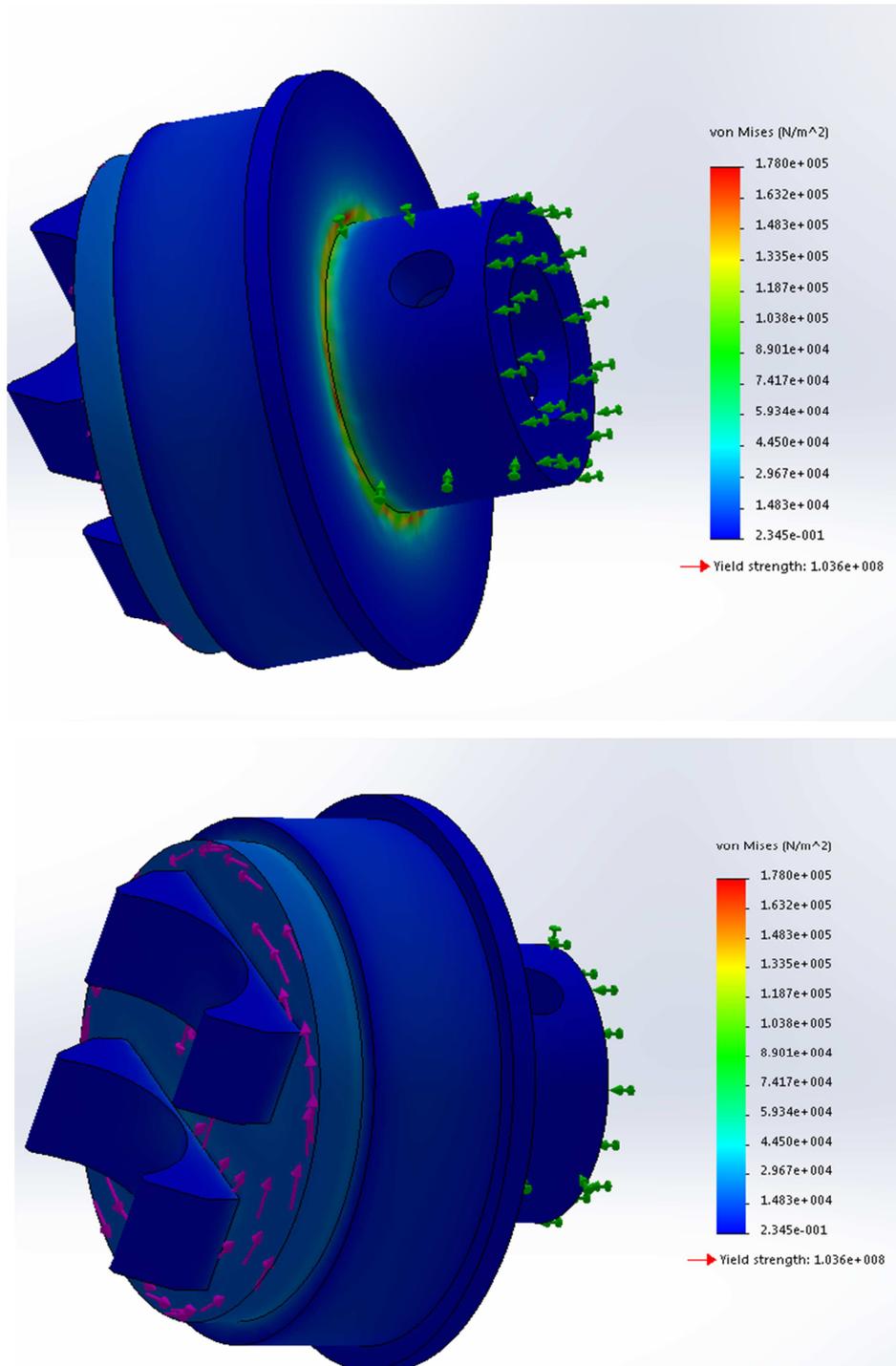


Figure 32 : résultat de torsion de la tête de maintien

#### 4-10 : Conclusion

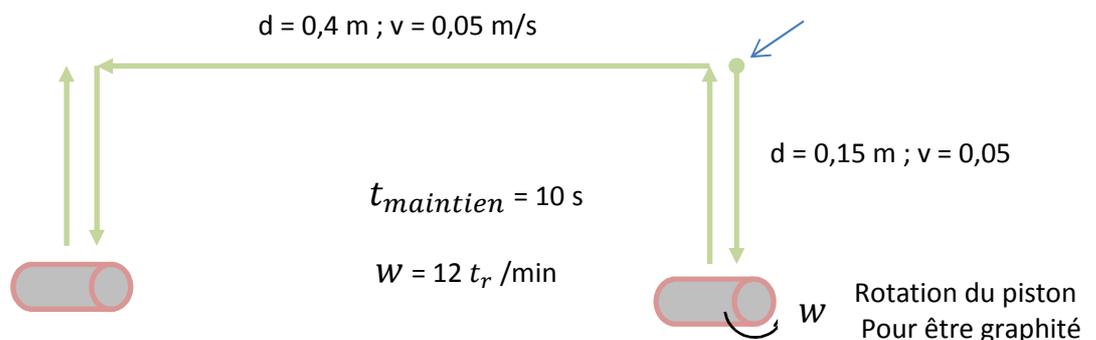
Sans avoir besoins de faire des calculs ou simulation pour valider les résultats, on peut remarquer dès le départ que les efforts mécaniques au niveau des contacts, avec la nature du mécanisme ne peuvent jamais déformer les pièces; et c'est tout à fait normale car d'une part le matériau des galets a été choisi pour que le couple du matériau galets-piston avoir un faible coefficient de frottement et donc faible résistance au roulement du piston et avec une capacité de charge en dynamique  $C > 2600$  N sécuritaire de ces galets ; et d'autre part le poids du piston est petit et sa rotation est lente ce qui rend facile de le tourner avec le couple choisi et le maintenir pendant cette rotation par les galets et la tête de maintien, sans que les efforts qu'il exerce sur ses éléments puissent engendrer leurs déformation.

Mais une argumentation de ses remarques est nécessaire pour les mettre en évidence, et les calculs et simulation réalisés en 4-9 viennent montrer ces remarques avec une force de 0,946 N exercée sur le galet négligeable par rapport à sa capacité de charge dynamique qui est  $C > 2600$  N, et une contrainte de déformation de la tête de maintien sous l'effet engendré par le piston faible par rapport à la limite élastique du matériau de la tête qui est de 103,65 MPA.

En conclusion le dimensionnement de tous ces éléments consiste au respect des dimensions géométriques déjà prises.

#### 4-11 : Calcul de la cadence (estimation)

Le schéma schématise le trajet parcouru par la tête de masquage pour graphiter les deux pistons que supporte le système, pour calculer la cadence on calcule le temps nécessaire pour que cette tête pour partir de son point de départ jusqu'à finir de graphiter le deuxième piston en passant bien sûr par le premier, en utilisant les spécifications du cahier des charges fonctionnel.



Selon le cahier de charge le piston fait au maximum deux tours pendant l'opération de graphitage ce qui correspond à  $t_p = 10s$  d'après la valeur de  $w$ , son maintien doit aussi au maximum prend 10s ( $t_{maintien} = 10s$ ).

Pour descendre ou monter la tête de masquage prend le temps

$$t_1 = 0,15/0,05 = 3s$$

Pour parcourir la distance horizontale elle prend

$$t_h = 0,4 / 0,05 = 8s$$

Donc pour graphiter 2 piston on a besoin de

$$t_2 = 2 (2t_1 + t_p / 2) + t_h = 2 (2 \times 3 + 10 / 2) + 8 = 30 s$$

Ce qui donne 4 pistons par minute et par suit 240 par heure.

## Conclusion générale

Pour conclure, je retiendrai tout d'abord qu'un projet de conception d'un système spécial neuf s'apparente en rien à la ré-conception d'un ancien système avec lequel il partage certains aspects fonctionnels, sans que ça empêche d'utiliser les démarches de conception exploitant les atouts déjà présents sur le terrain, en s'appuyant sur l'ancien système pour optimiser la conception.

La conception du système que nous proposons est arrivée à son terme et il sera capable de remplacer le système actuel et résoudre l'ensemble des problèmes rencontrés avec celui-ci ; il est facile à réaliser et sa réalisation est devenue primordiale car elle permet d'atteindre la cadence souhaitée, avec la précision exigée du film de graphite ce qui permet de satisfaire les demandes dans leurs délais sans avoir besoin de travailler hors les horaires de travail et en fin facile à manipuler.

Pour pouvoir arriver à un tel système, nous avons commencé par choisir les meilleures solutions pour les différents concepts, en essayant d'utiliser le maximum des solutions existantes et en analysant les différentes contraintes auxquelles doit obéir le système.

Puis nous avons passé au dimensionnement des éléments critiques du système et particulièrement ceux qui doivent être fabriqués ou commandés personnalisés, tels que la tête de maintien et la tête de masquage, le choix de leurs matériaux, l'établissement de leurs dimensions et la méthode de fabrication en se basant sur la géométrie du piston, la nature de contact entre eux et le piston qui ne doit ni influencer l'état de sa surface ni l'endommager; et la recherche d'un fournisseur pouvant nous réaliser le rouleau de graphitage.

Ensuite on a fait une simulation sur le logiciel SolidWorks pour valider tout ce qui est résistances mécanique et choix des grandeurs géométriques. En analysant les déformations, et le comportement des pièces.

D'autre côté mon projet d'étude au sein de la SMFN m'a permis de mettre en pratique les connaissances que j'ai acquises durant ma formation surtout en terme de conception des produits et d'apprendre beaucoup de choses sur le plan professionnel. Il m'a permis de travailler sur différents logiciels de conception tels que SOLIDWORKS et CATIA avec leurs différents ateliers, et de maîtriser quelques utilisations de ces logiciels comme le design, l'étude et la simulation.

## Liste des tableaux

Tableau 1 : décomposition de la matière utilisée pour les pistons .....	15
Tableau 2 : Fonctions trouvées par la méthode intuitive .....	29
Tableau 3 : Résumée des fonctions trouvées par la méthode des interacteurs .....	33
Tableau 4 : Suite résumée des fonctions trouvées par la méthode des interacteurs .....	34
Tableau 5 : Résumée des fonctions trouvées à partir de l'analyse du produit de référence ....	35
Tableau 6 : Résumée des fonctions trouvées en utilisant les normes .....	35
Tableau 7 : Fonctions d'estimes de la machine .....	36
Tableau 8 : Suite des fonctions d'estimes de la machine .....	37
Tableau 9 : Liste finale des fonctions importantes retenues pour la machine .....	37
Tableau 10 : Liste des fonctions trouvées en créant l'arbre fonctionnelle .....	39
Tableau 11 : Comparaison des configurations .....	44
Tableau 12 : Cahier de charges fonctionnel .....	45
Tableau 13 : Suite cahier de charges fonctionnel .....	46
Tableau 14 : Notes à la conception.....	47
Tableau 15 : Suite Notes à la conception .....	48
Tableau 16 : Choix technologiques possibles.....	49
Tableau 17 : Matrice morphologique .....	50
Tableau 18 : Les combinaisons compatibles .....	51
Tableau 19 : Matrice de PUGH .....	52
Tableau 20 : Suite Matrice de PUGH.....	53
Tableau 21 : Principales spécifications .....	59
Tableau 22 : Matériau de la tête de maintien.....	61
Tableau 23 : Dimensions de la tête de masquage.....	63
Tableau 24 : Matériau de la tête de masquage.....	64
Tableau 25 : Matériau du châssis fixe .....	66

## Liste des figures

Figure 1 : vue de la société Floquet Monopole .....	6	
Figure 2 : Organigramme de la SMFN.....	8	
Figure 3 : Lingots d'aluminium.....	10	
Figure 4 : Le piston dans le moteur .....	13	
Figure 5 : Piston usiné .....	14	
Figure 6 : Liste des OP .....	19	
Figure 7 : Implantation des machines au sein de l'usine.....	20	
Figure 8 : Diagramme de succession des opérations.....	22	
Figure 9 : Graphe bête à cornes.....	27	
Figure 10 : Interacteurs de la machine .....	30	
Figure 11 : liens d'interaction entre les interacteurs de la machine .....	32	
Figure 12 : Arbre fonctionnel de la machine SGP-SH2202 .....	40	
Figure 13 : concept retenu pour mécanisme de maintien du piston .....	54	
Figure 14 : concept retenu pour le mécanisme de masquage .....	54	
Figure 15 : concept retenu pour le mécanisme de répartition de la couche du graphite.....	55	
Figure 16 : Concept global final.....	56	
Figure 17 : Procédure de graphitage.....	57	
Figure 18 : Géométrie 3D de la tête de maintien.....	60	
Figure 19 : Géométrie 3D de la tête de masquage.....	61	
Figure 20 : images de la tête de masquage avec les contraintes de dimension.....	62	
Figure 21 : Tête de masquage avec dimensions choisis .....	63	
Figure 22 : Châssis fixe de la machine.....	65	
Figure 23 : Courbe de puissance d'un moteur pas à pas .....	67	
Figure 24 : Modélisation de l'ensemble piston + tête par un cylindre .....	67	
Figure 25 : Position du galet par rapport au piston.....	69	
Figure 26 : Dimensions retenues pour le galet .....	70	
Figure 27 : Cas extrêmes de l'entraxe des galets.....	70	
Figure 28 : l'entraxe final des galets .....	71	
Figure 29 : Rail +guidage linéaire à bille	Figure 30 : Pignon crémaillère .....	72
Figure 31 : Axe linéaire avec vis à bille .....	72	
Figure 32 : résultat de torsion de la tête de maintien.....	75	

## Bibliographie

1 : Cours Analyse fonctionnelle de Michel Bigand Maître de conférences à Centrale Lille

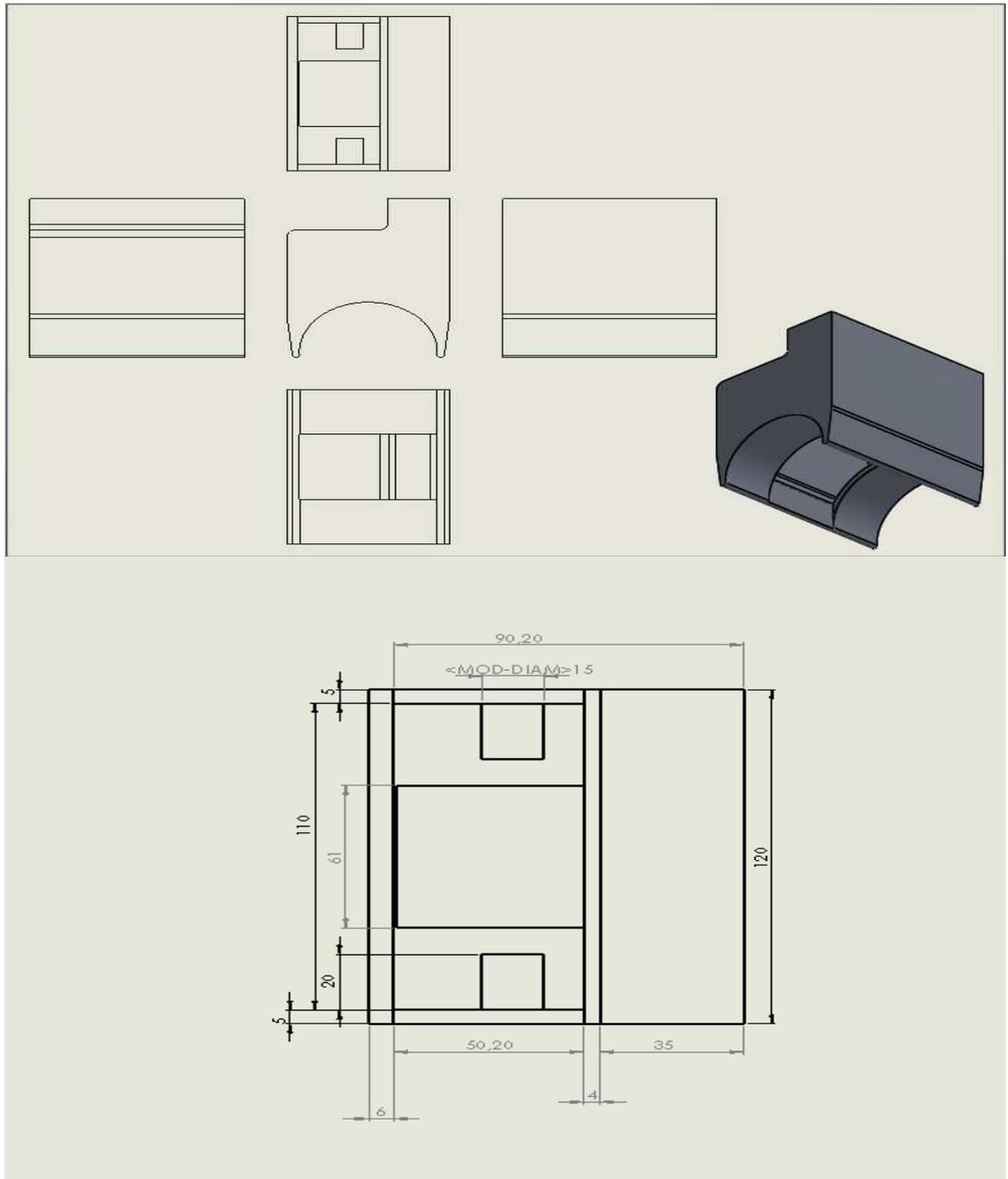
2 : Volume 3 du livre Conception des machines, Georges-Spinnler

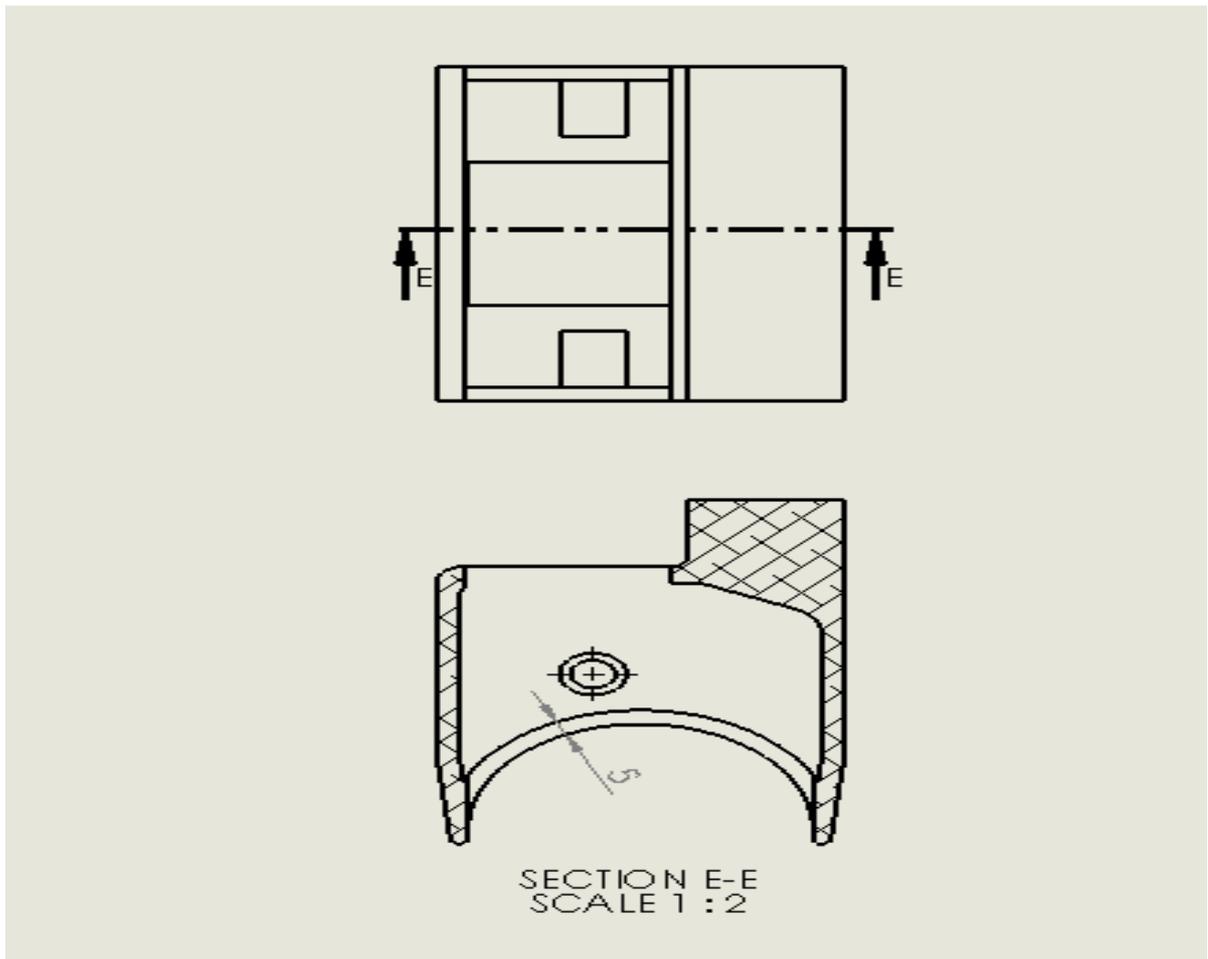
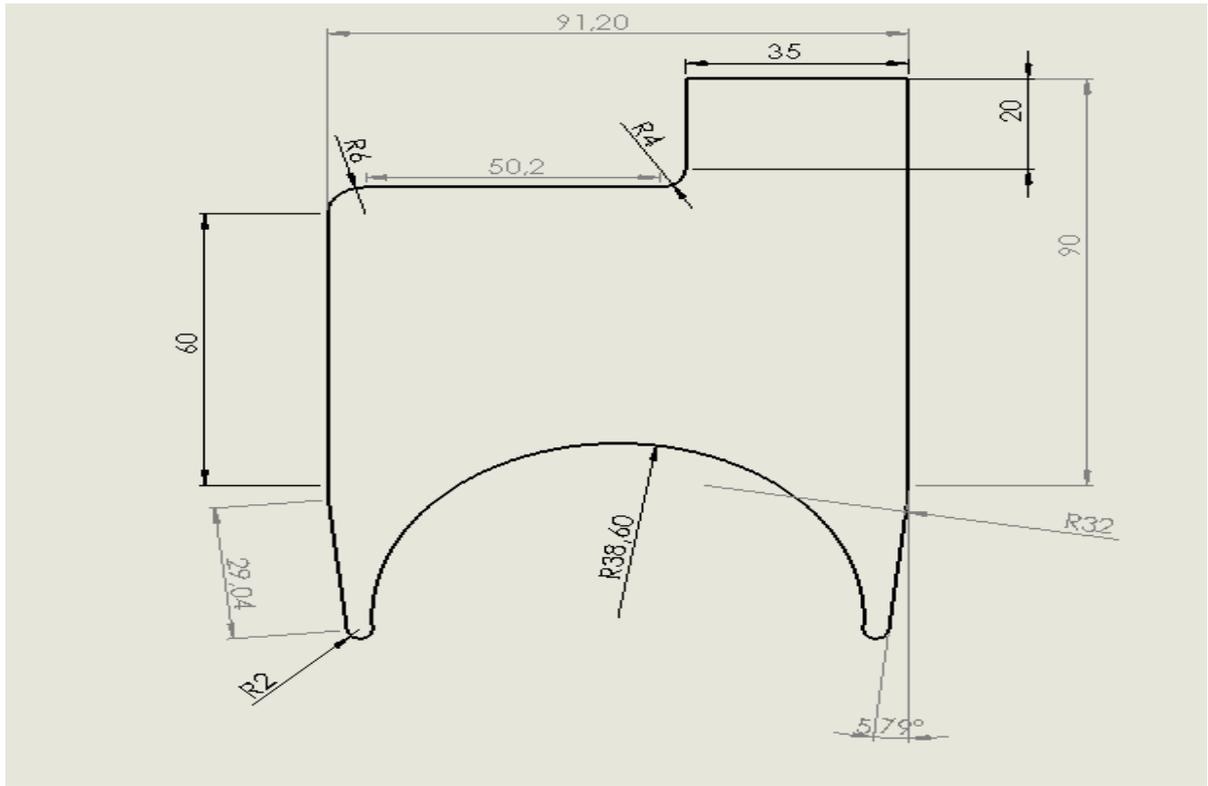
3 : Livre, La conception mécanique : méthodologie et optimisation, Philippe Boisseau

4 : Documentation sites web

## Les Annexes

### Annexe A : Mise en plan de la tête de masquage





## Annexe B : Caractéristiques du guidage à bille sur rail

Vitesse	jusqu'à 5 m/s
Accélération	jusqu'à 75 m/s <sup>2</sup>
Précision	jusqu'à 10 µm/1 000 mm
Température de fonctionnement	-20 à +80 °C
Longueur d'arbre en une seule pièce	jusqu'à 4 000 mm
C	jusqu'à 72 400 N
C <sub>0</sub>	jusqu'à 121 400 N

## Annexe C : Caractéristiques de l'axe linéaire avec vis à billes

Course	300 mm
Diamètre vis	12 mm
Précision	0,01mm
Charge	60 kg
Longueur totale	423 mm, peut être personnalisée
Vitesse	Jusqu'à 40 mm/s

## Annexe E

en cas d'équilibre le piston subit les efforts représentés sur les schémas suivants

vue de face

vue de droite

- la nature de contact entre le piston et le gilet et à cause de la symétrie on  $\vec{F}_1 = \vec{F}_2 = \vec{F}$
- $\vec{F}$  est centrifuge (suivant le rayon <sup>direct</sup>) par le gilet
- pour calculer l'angle  $\alpha$  on a que les trois centres de cercles représentés constituent un triangle isocèle

avec  $r$  rayon piston,  $R$  : rayon du gilet  
ce qui donne  $\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{\text{entreaxe}/2}{r+R} = \frac{w_0}{s_{2,6}}$   
 $\Rightarrow \cos(\frac{\alpha}{2}) = 0,6499$

- le poids d'un piston  $\Delta P = 1,23 \text{ N}$  (Solidworks)