

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR**  
**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA**  
**FACULTÉ DE TECHNOLOGIE**  
**DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE**

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

**MASTER**

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : CONSTRUCTION MÉCANIQUE

PAR :

**BOUTAGHANE DJAMEL**

**SOULALI AMAR**

## Thème

---

**Came d'ouverture/fermeture du moule d'une machine souffleuse  
(cevitral), étude et analyse des pannes**

---

Soutenu le 2020 devant le jury composé de:

|     |            |
|-----|------------|
| Mr. | Président  |
| Mr. | Rapporteur |
| Mr. | Examineur  |

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2019-2020

# Remerciement

*Nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir permis d'atteindre et d'avoir réussi nos études, et de nous avoir donné la santé, la volonté et le courage pour achever ce travail.*

*Nous exprimons toute notre gratitude à notre promoteur, monsieur Besamri qui nous a encadrés avec patience, rigueur et compétence. Nous le remercions pour son inépuisable disponibilité, ses critiques, son soutien et encouragements.*

*Nous voudrions étendre cette gratitude à Monsieur Susuan hakim pour son suivie au sein de l'entreprise Gevital malgré la crise sanitaire dans laquelle se trouve le monde cette année*

*Nous inscrivons aussi dans ces lignes notre reconnaissance envers tous nos enseignants(es) durant le parcours universitaire, sans oublier tout le personnel du Hall de technologie*

*Nous remercions également notre président de jury ainsi que les examinateurs pour avoir accepté de juger et de valider notre travail.*

*Nous exprimons notre reconnaissance à notre famille de nous avoir accompagné et supporté durant ce travail.*

*Enfin, nous tenons à remercier sincèrement toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

# DEDICACE

*En premier lieu, je remerciée DIEU, qui ma donnée le courage, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.*

*Je dédie ce modeste travail :*

✓ *À la lumière de ma vie, mes chers parents, exemple de courage et de sérieux qui m'ont tout donné pour me permettre de réaliser mes rêves .en ces quelques mots, je leurs exprime tout mon amour et mon respect pour tout ce qu'ils m'ont offert comme soutien, encouragement et aide. je leurs souhaite une bonne santé, que Dieu me les gardé.*

✓ *À mes sœurs*

✓ *À mes frères*

✓ *À toutes ma famille*

✓ *À tous mes amis*

**BOUTAGHANE DJAMEL**

# DEDECACE

*En premier lieu, je remerciée DIEU, qui m'a donné le courage, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.*

*Je dédie ce modeste travail :*

✓ *À la lumière de ma vie, mes chers parents, exemple de courage et de sérieux qui m'ont tout donné pour me permettre de réaliser mes rêves .en ces quelques mots, je leurs exprime tout mon amour et mon respect pour tout ce qu'ils m'ont offert comme Soutien, encouragement et aide. je leurs souhaite une bonne santé, que Dieu me les garde.*

➤ *À mes sœurs*

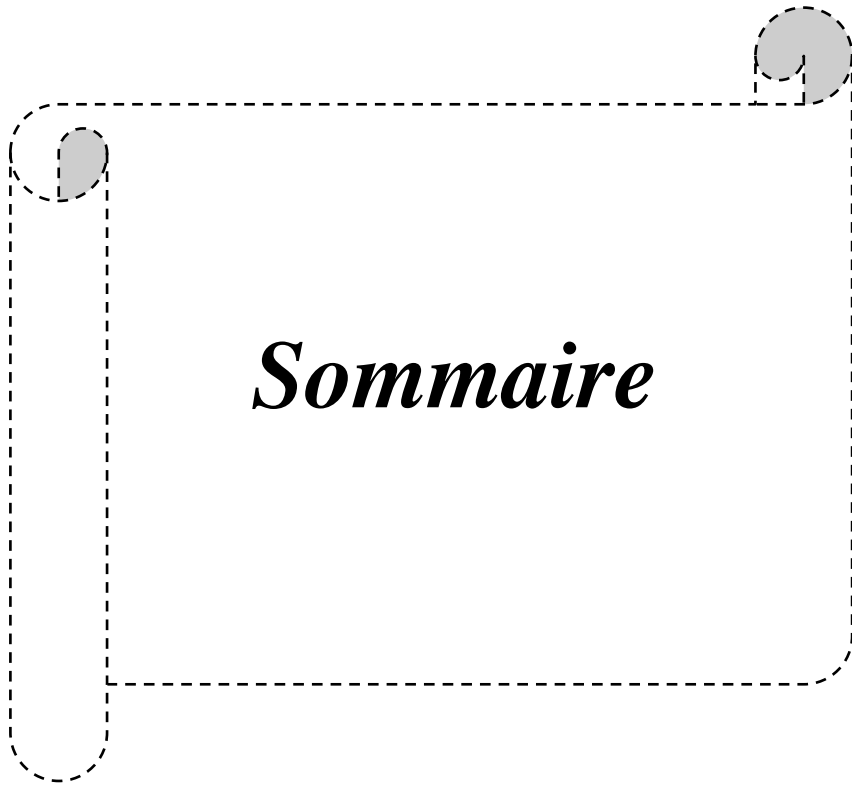
➤ *À mon frère*

➤ *A ma chère femme*

➤ *À toute ma famille*

➤ *À tous mes amis*

# AMAR SOULALI



# ***Sommaire***

# *Sommaire*

Liste des figures

Liste des tableaux

## **CHAPITRE I : Présentation de la souffeuse SBO4**

|       |   |    |
|-------|---|----|
| I.1   | Généralités : .....   | 22 |
| I.2   | Rôle de la souffeuse SBO .....  | 22 |
| I.3   | Description du principe de fonctionnement d'une SBO (souffeuse biorientation) : | 22 |
| I.4   | Le principe général de fonctionnement d'une SBO .....                           | 23 |
| I.5   | Chaine cinématique: .....   | 23 |
| I.5.1 | Description : .....   | 23 |
| I.6   | Système de fonctionnement de la SBO 4 : .....                                   | 26 |
| I.7   | Les différents éléments de la souffeuse SBO 4 : .....                           | 26 |
| I.8   | Le Rôle de différents éléments : .....  | 27 |
| I.8.1 | Motorisation et transmission : .....  | 27 |
| I.8.2 | L'alimentation : .....  | 27 |
| I.8.3 | Le four : .....   | 28 |
| I.8.4 | La table de transfert : .....   | 29 |
| I.8.5 | La roue de soufflage : .....  | 29 |
| I.8.6 | La sortie Bouteilles : .....  | 30 |
| I.8.7 | Les tableaux de commande des circuits hydraulique et pneumatiques : .....       | 30 |
| I.8.8 | Le poste de contrôle et de commande (P.C.C) : .....                             | 31 |
| I.8.9 | L'armoire électrique : .....  | 31 |
| I.9   | Principe de fonctionnement de la souffeuse SBO 4 : .....                        | 32 |
| I.9.1 | Roue de soufflage : .....   | 33 |
| I.9.2 | Commande ouverture / fermeture de moule : .....                                 | 34 |
| I.9.3 | Verrouillage GUPM : .....   | 36 |
| I.9.4 | Fond de moule : .....   | 37 |
| I.9.5 | Tuyère de soufflage : .....   | 38 |
| I.9.6 | Etirage : .....   | 39 |

|         |                                    |    |
|---------|------------------------------------|----|
| I.9.7   | Vanne à voies : .....              | 39 |
| I.9.7.1 | Description : .....                | 39 |
| I.9.7.2 | Principe de fonctionnement : ..... | 39 |
| I.9.8   | Circuits d'aire : .....            | 40 |
| I.9.9   | Circuits d'eau : .....             | 40 |
| I.10    | Unité de soufflage : .....         | 40 |
| I.10.1  | Diagramme du cycle : .....         | 41 |

## ***CHAPITRE II : la rétro conception***

|        |   |    |
|--------|---|----|
| II.1   | Introduction .....                                    | 42 |
| II.2   | .Définition de la rétro conception .....              | 42 |
| II.3   | Le principe de rétro conception .....                 | 42 |
| II.4   | Les raisons industrielles du rétro-conception : ..... | 43 |
| II.5   | Les logiciels utilisés pour la rétro conception ..... | 46 |
| II.5.1 | Geomagic : .....                                      | 46 |
| II.5.2 | CATIA:.....   | 48 |
| II.5.3 | 3DReshaper: .....                                     | 49 |
| II.5.4 | SolideWorks : .....                                   | 50 |

## ***CHAPITRE III : Analyse technologique du système***

|         |  |    |
|---------|--|----|
| III.1   | Introduction : .....   | 33 |
| III.2   | Analyse technologique du système : .....                         | 33 |
| III.3   | La description de la came de commande (came escamotable) : ..... | 33 |
| III.3.1 | Fonctionnement et rôle de la came escamotable .....              | 38 |
| III.4   | Proposition de solution .....                                    | 38 |
| III.5   | Les rondelles à ressorts type Belleville : .....                 | 38 |
| III.5.1 | Historique des rondelles Belleville .....                        | 38 |
| III.5.2 | Définition .....   | 39 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| III.5.3 | Paramétrage des rondelles Belleville .....                            | 39 |
| III.5.4 | Condition de résistance .....   | 40 |
| III.5.5 | condition de déformation .....  | 41 |
| III.5.6 | Association de rondelles.....   | 41 |
| III.6   | Calcul des rondelles à ressort Belleville :.....                      | 41 |
| III.7   | Calcul des rondelles à ressort Belleville avec autres référence ..... | 46 |





*Liste des figures*

## Chapitre I

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| Figure I. 1 Principe de fonctionnement d'une SBO .....                              | 23                                 |
| Figure I. 2 Chaîne cinématique de la souffleuse SBO4 .....                          | 25                                 |
| Figure I. 3 La transformation d'une préforme en bouteille .....                     | 26                                 |
| Figure I. 4 Les différents éléments de la souffleuse SBO4 .....                     | 26                                 |
| Figure I. 5 Motorisation et Transmission .....                                      | 27                                 |
| Figure I. 6 Alimentation de la souffleuse SBO4 .....                                | 28                                 |
| Figure I. 7 Four et tournette de la souffleuse SBO4 .....                           | 28                                 |
| Figure I. 8 la table de transfert de la souffleuse SBO4 .....                       | 29                                 |
| Figure I. 9 la roue de soufflage de la souffleuse SBO4 .....                        | 29                                 |
| Figure I. 10 sortie de bouteilles de la souffleuse SBO4 .....                       | 30                                 |
| Figure I. 11 Les tableaux de fluides de la souffleuse SBO4 .....                    | 30                                 |
| Figure I. 12 Le poste de contrôle et de commande (p.c.c) de la souffleuse SBO4..... | 31                                 |
| Figure I. 13 L'armoire électrique de la souffleuse SBO4 .....                       | 32                                 |
| Figure I. 14 Principe de fonctionnement de la souffleuse SBO4 .....                 | 33                                 |
| Figure I. 15 commande ouverture fermeture de moule de la souffleuse SBO4 .....      | 35                                 |
| Figure I. 16 Verrouillage GUPM de la souffleuse SBO4 .....                          | 36                                 |
| Figure I. 17 fond de moule de la souffleuse SBO4 .....                              | 37                                 |
| Figure I. 18 Tuyère de soufflage de la souffleuse SBO4 .....                        | 38                                 |
| Figure I. 19 Description de l'unité de soufflage .....                              | 41                                 |
| Figure I. 20 Diagramme de cycle pour le fonctionnement de l'unité de soufflage ...  | <b>Erreur ! Signet non défini.</b> |

## Chapitre II

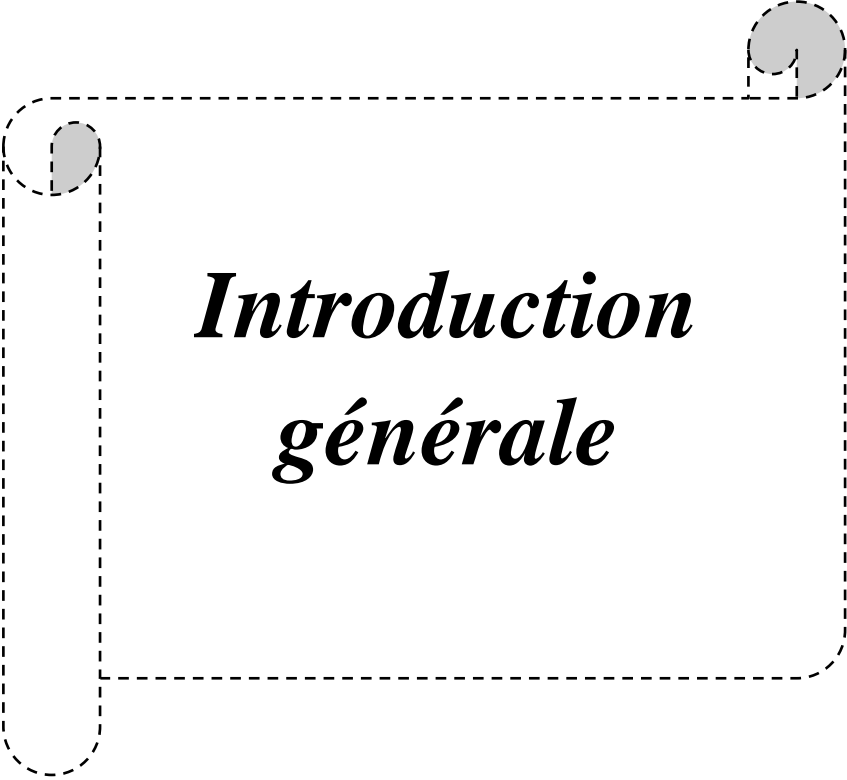
|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| Figure II. 1 Les étapes de la méthode de rétro conception .....                 | 43                                 |
| Figure II. 2 La rétro conception d'une aube de turbine usée.....                | 44                                 |
| Figure II. 3 Exemple de rétro-conception de l'imprimerie.....                   | 44                                 |
| Figure II. 4 La rétro-conception d'une barre de stabilisatrice.....             | 45                                 |
| Figure II. 5 Rétro-conception d'un bouchon de voiture (Delahaye).....           | 45                                 |
| Figure II. 6 La rétro-conception d'une pompe de direction assistée.....         | 45                                 |
| Figure II. 7 L'opération d'extrusions .....                                     | 47                                 |
| Figure II. 8 Exemple de rétro-conception avec Geomagic.....                     | 48                                 |
| Figure II. 9 Exemple d'une pièce industrielle rétro-conçue avec 3DReshaper..... | 49                                 |
| Figure II. 10 Rétro conception d'engrenage.....                                 | <b>Erreur ! Signet non défini.</b> |

## Chapitre III

|   |    |
|---|----|
| Figure III. 1 commande O/F du moule coupe A-A .....             | 34 |
| Figure III. 2 commande O/F du moule coupe B-B .....             | 34 |
| Figure III. 3 commande O/F du moule coupe C-C .....             | 35 |
| Figure III. 4 Commande O/F du moule de la souffleuse SBO4 ..... | 35 |
| Figure III. 5 la came de commande de la souffleuse SBO 4 .....  | 37 |
| Figure III. 6 Ecrasement de la rondelle .....                   | 39 |
| Figure III. 7 rondelle Belleville.....                          | 40 |
| Figure III. 8 Montage en série .....                            | 41 |
| Figure III. 9 Montage en parallèle.....                         | 41 |

## Liste des tableaux

|   |    |
|---|----|
| Tableau III. 1 Composants de la commande O/F du moule de la souffleuse SBO4 ..... | 36 |
| Tableau III. 2 Dimensions et charge admissible [NF.E.25.104] .....                | 42 |
| Tableau III. 3 Rapport des épaisseurs de rondelle. ....                           | 43 |



***Introduction  
générale***

# Introduction

La mécanique fait partie des sciences de l'ingénieur les plus développées de nos jours. Elle a pour objectif principal de procurer un certain mécanisme aux systèmes les laissant prendre les décisions adéquates aux différents stades de leur évolution.

Le monde de l'industrie dispose de machines et d'installations de plus en plus performantes et complexes. Les exigences de haute sécurité, la réduction des coûts d'exploitation et la maîtrise de la disponibilité des équipements donnent à la maintenance des systèmes un rôle prépondérant. Elle doit permettre de n'intervenir qu'en présence d'éléments défectueux et de minimiser le temps de réparation malgré la complexité des équipements.

Le travail qui nous a été confié est de faire une étude sur les causes de défaillance du système de commande de fermeture du moule de la machine souffleuse de bouteille en PET de cinq litres, dénommée SBO 4 (S : Souffleuse ; B : bi ; O : orientation ; 4 : à quatre moules), de l'unité de conditionnement d'huile à l'entreprise cevital. Le but de l'étude et de diagnostiquer les causes de défaillance de ce système qui causent des arrêts fréquents de production et proposer une solution pour éliminer ces causes. Pour ce faire, nous avons décomposé notre travail en trois principaux chapitres :

- Le premier chapitre sera consacré à la description fonctionnelle de générale de la machine concernée par l'étude ainsi que le principe de fonctionnement de chacun de ces organes.
- Le second chapitre portera sur la généralité de la rétro conception
- Le troisième chapitre traitera la Analyse des causes de défaillance du système commande ouverture / fermeture du moule. Et présentation de la solution proposée pour élimines les causes de défaillance du système étudié.



***CHAPITRE I***

## **I.1 Généralités :**

Le moulage par soufflage est un procédé de mise en forme par moulage de matériaux polymères thermoplastiques, qui est utilisé pour fabriquer en discontinu des corps creux, tels que les bouteilles et les flacons, par le procédé général qui commence par le réchauffage des préformes suivi d'un étirage axial mécanique, suivi d'un étirage radial par soufflage d'air comprimé. [1]

Ce procédé permet l'optimisation de la production, ainsi qu'une grande souplesse de fonctionnement et d'utilisation.

## **I.2 Rôle de la souffleuse SBO**

La machine SBO (souffleuse bi orientation) est destinée au soufflage haute pression d'articles en PET (polyéthylène téréphtalate).

- La production est assurée à partir de préformes proportionnées en fonction de l'article final.
- La machine est conçue pour s'intégrer en amont d'une chaîne de remplissage ou fonctionner seule selon les activités de son exploitant [1]

## **I.3 Description du principe de fonctionnement d'une SBO (souffleuse bi orientation)**

Les préformes réchauffées sont saisies par un col à l'aide d'une pince puis positionnées dans le moule. Le moule portefeuille, installé sur un carrousel s'ouvre et se ferme à l'aide de bras actionnés par une came. Ce moule est placé dans une unité porte moule enveloppante à verrouillage intégré. Cette configuration permet un changement rapide des moules.

Le nez de soufflage est introduit dans le col de la préforme et permet le guidage de la tige d'élongation qui assure l'orientation axiale. La mise en forme de la bouteille s'effectue en 2 étapes

- Première opération: c'est l'étirage par une came dans l'axe de l'objet par un piston et un soufflage (environ 7 bars), pour éviter l'adhérence de la préforme sur la came, les molécules s'orientent dans l'axe de l'objet
- Seconde opération: c'est l'étirage radial par soufflage (pression  $30 < P < 40$  bars).



Le nez de soufflage est muni d'un dispositif qui assure l'étanchéité et évite les déformations au niveau du col quelle que soit la pression de soufflage. Le moule est refroidi par une circulation interne d'eau réfrigérée.

La bouteille est ensuite transférée par un arbre de transfert muni d'une pince sur convoyeur de sortie [1]

#### I.4 Le principe général de fonctionnement d'une SBO

Le principe général de fonctionnement d'une SBO est le suivant :

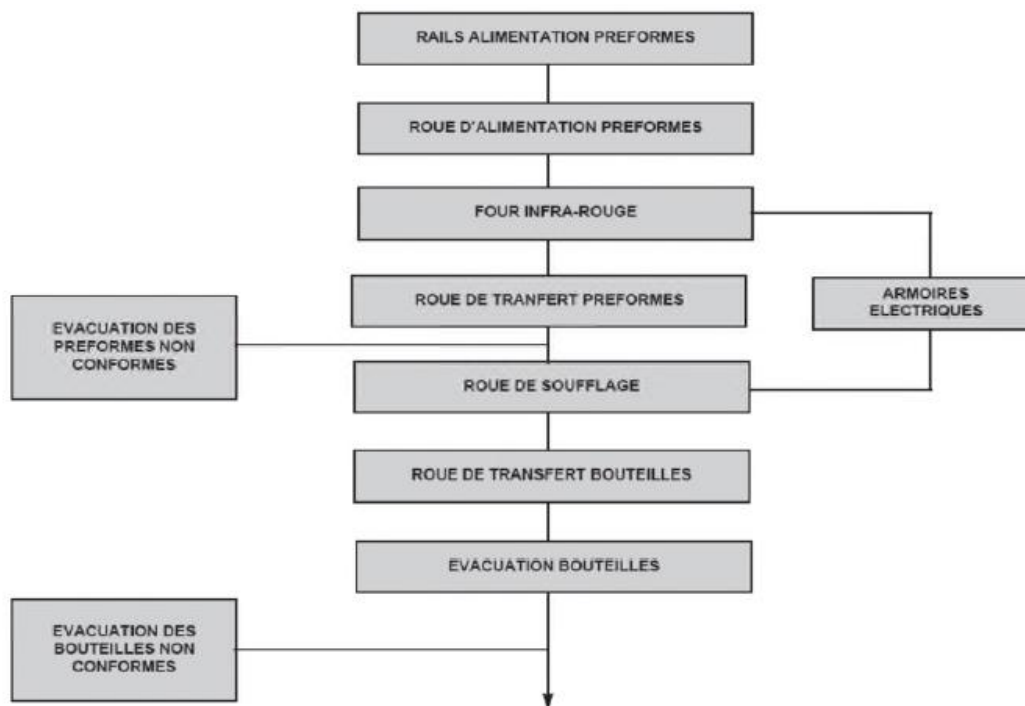


Figure I. 1 Principe de fonctionnement d'une SBO [1]

#### I.5 Chaîne cinématique

##### I.5.1 Description

Sur le schéma de la chaîne cinématique (fig.2), on reconnaît les ensembles suivants :

- Le motoréducteur d'entraînement.
- La couronne de la roue de soufflage.
- La roue à encoches d'alimentation du four infrarouge (30 encoches).
- La roue de transfert des préformes à 3 bras.

- La roue de transfert des bouteilles à 3 bras.
- La roue de sortie bouteilles à 6 encoches.

L'arbre de sortie du motoréducteur est équipé d'un pignon de 38 dents. Il assure la transmission de puissance à la couronne de 120 dents de la roue de soufflage par l'intermédiaire d'un pignon fou de 38 dents.

Depuis la couronne de la roue de soufflage, le mouvement est transmis par l'intermédiaire de pignons à :

- \* La roue de transfert des préformes.
- \* La roue de transfert des bouteilles.

De la roue de transfert des préformes, le mouvement est transmis à l'arbre d'entraînement du four infrarouge par l'intermédiaire d'une transmission à poulies et courroie crantée.

La mise en rotation du four infrarouge est assurée par un module épicycloïdal. Celui-ci inverse le sens de rotation et démultiplie le mouvement dans un rapport exact de 6.

De la roue de transfert des bouteilles, le mouvement est transmis au dispositif de sortie des bouteilles par l'intermédiaire d'une transmission à poulies et courroie crantée et d'un jeu d'engrenages qui inverse le sens de rotation.

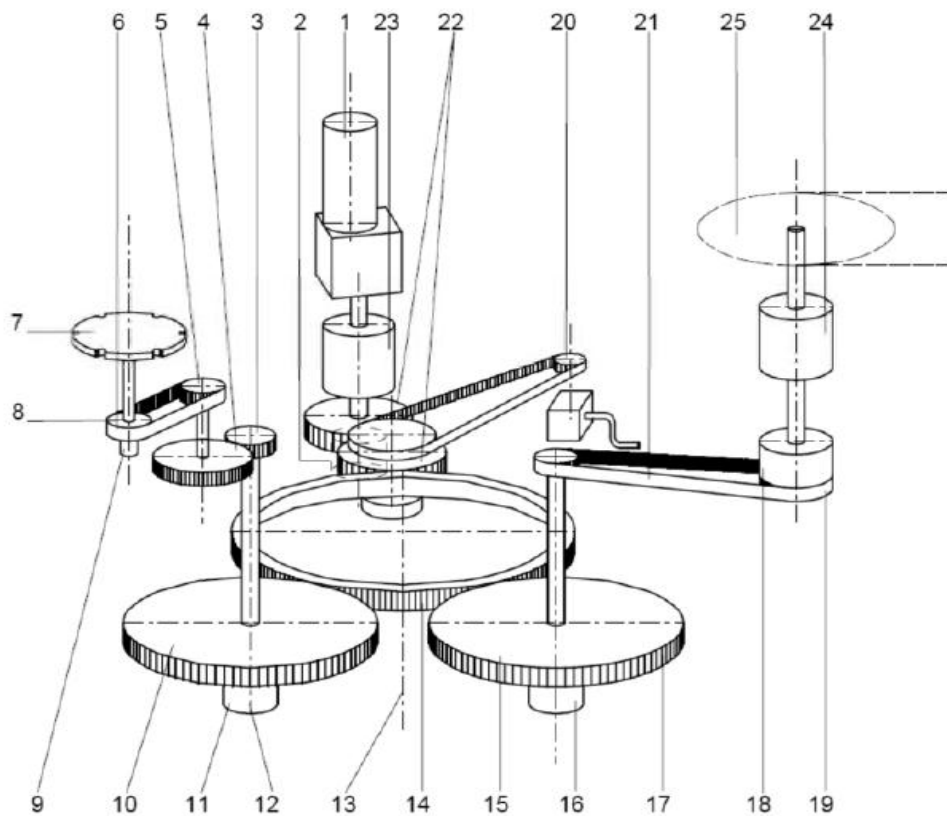


Figure I. 2Chaine cinématique de la souffleuse SBO4 [1]

- |                                     |                                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 Motoréducteur                     | 14 couronne de la roue de soufflage  |
| 2 frein                             | 15 roue de transfert de préformes    |
| 3 pignon 38 dents                   | 16 limiteur de couple                |
| 4 pignon 70 dents                   | 17 roue 90 dents                     |
| 5 poulie crantée 39 dents           | 18 module épicycloïdal               |
| 6 courroie                          | 19 poulie crantée 65 dents           |
| 7 roue de sortie de bouteilles      | 20 poulie crantée 39 dents           |
| 8 poulie crantée 39 dents           | 21 courroie                          |
| 9 limiteur de couple                | 22 pignon 38 dents                   |
| 10 roue 90 dents                    | 23 limiteur de couple                |
| 11 limiteur de couple               | 24 limiteur de couple                |
| 12 roues de transfert de bouteilles | 25 roue d'alimentation à 30 encoches |
| 13 Axe de la roue de soufflage      |                                      |

**I.6 Système de fonctionnement de la SBO 4**

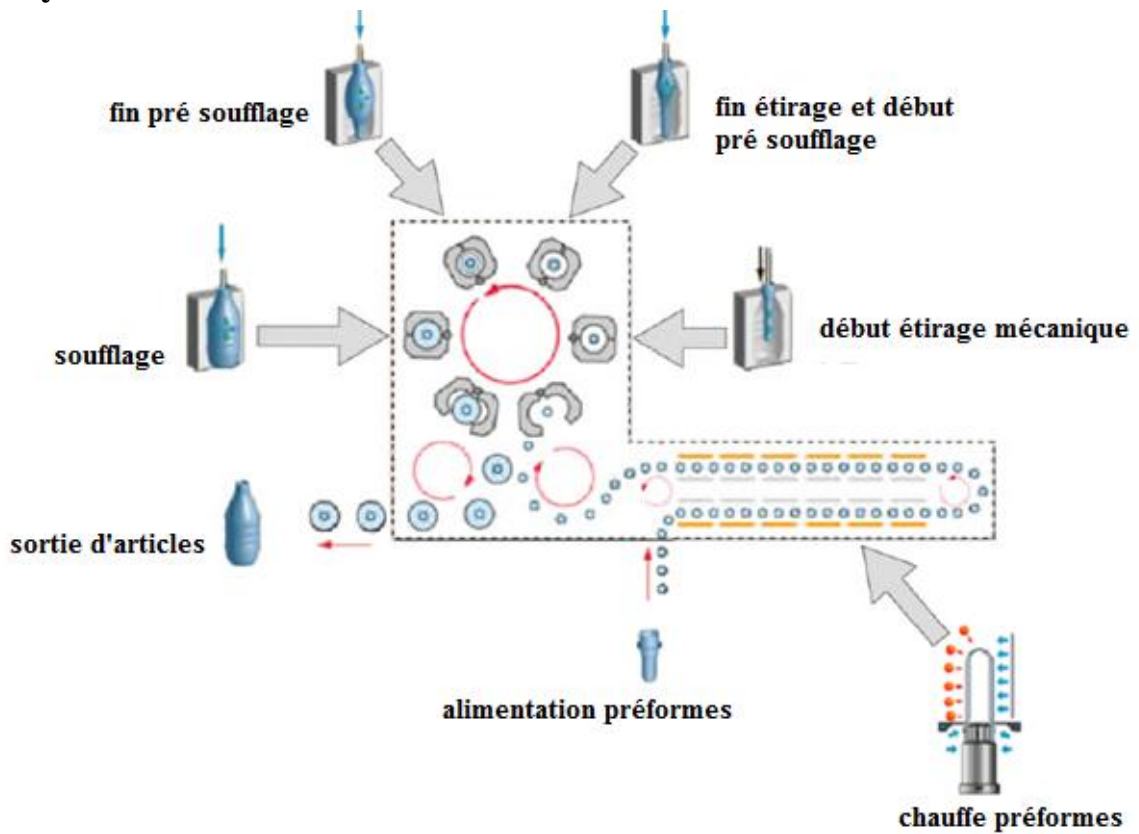


Figure I. 3 La transformation d'une préforme en bouteille [1]

**I.7 Les différents éléments de la souffleuse SBO 4**

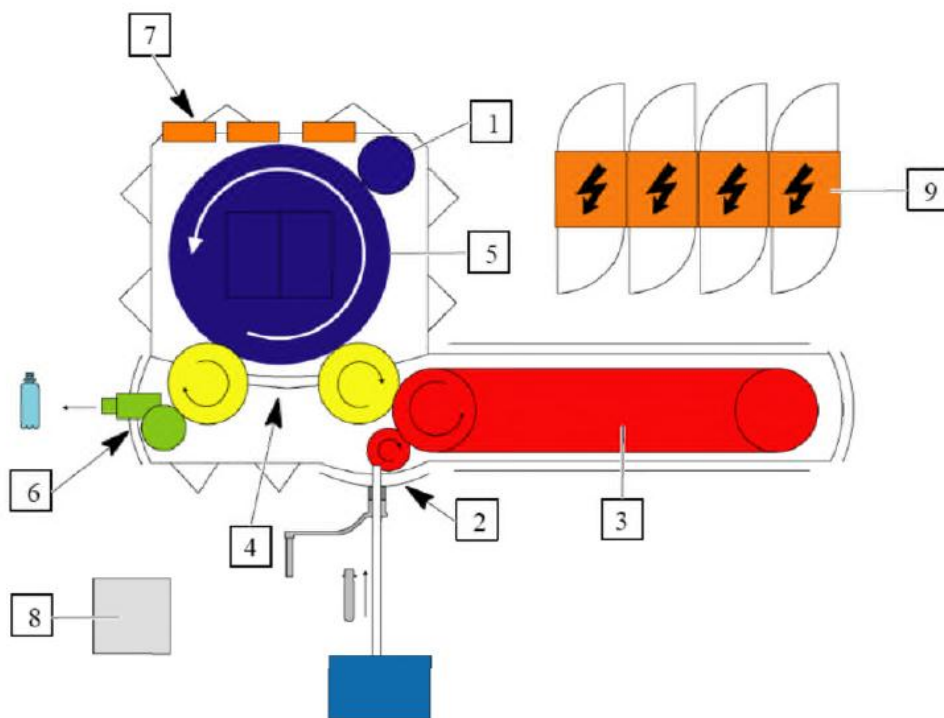


Figure I. 4 Les différents éléments de la souffleuse SBO4 [1]

|   |                    |   |                                   |
|---|--------------------|---|-----------------------------------|
| 1 | Motorisation       | 6 | Sortie bouteilles                 |
| 2 | Alimentation       | 7 | Commande des systèmes hydraulique |
| 3 | Four               | 8 | Poste de contrôle et de commande  |
| 4 | Table de transfert | 9 | Armoire électrique                |
| 5 | Roue de soufflage  |   |                                   |

## I.8 Le Rôle de différents éléments

### I.8.1 Motorisation et transmission

La motorisation est assurée par le motoréducteur, permet l'entraînement des différentes poulies et courroies de la transmission machine



**Figure I. 5** Motorisation et Transmission [1]

### I.8.2 L'alimentation

L'alimentation des préformes dans la machine est assurée par le rail et le Plateau d'alimentation :

- Le rail dirige les préformes par gravité sur le plateau d'alimentation.
- Le plateau d'alimentation assure le transfert des préformes vers le four.

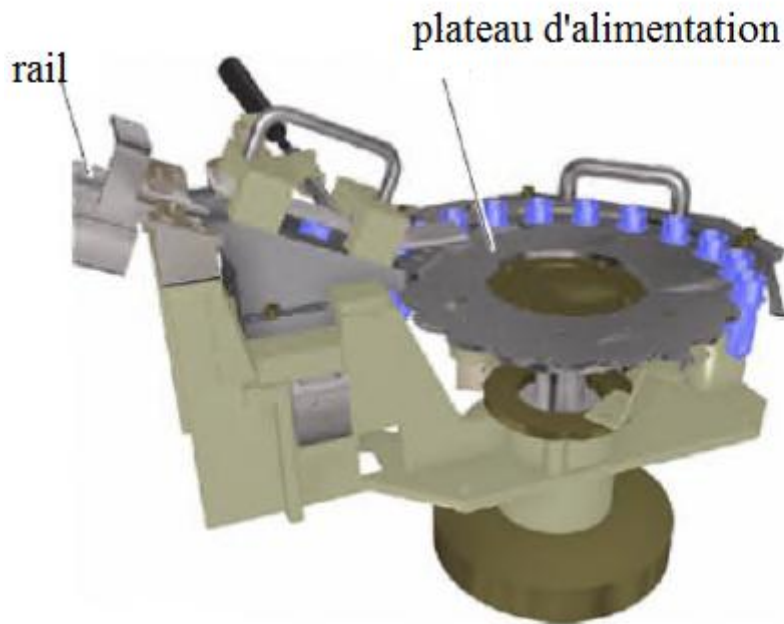


Figure I. 6 Alimentation de la souffeuse SBO4 [1]

### I.8.3 Le four

Le four, équipé de lampes infrarouges, assure la chauffe du corps des préformes (entre 80°C et 120°C).

Les préformes, maintenues par des tournettes, sont animées d'un mouvement de rotation pendant leur passage devant les lampes I.R. Cette rotation garantit une répartition optimale de la température du corps de la préforme.

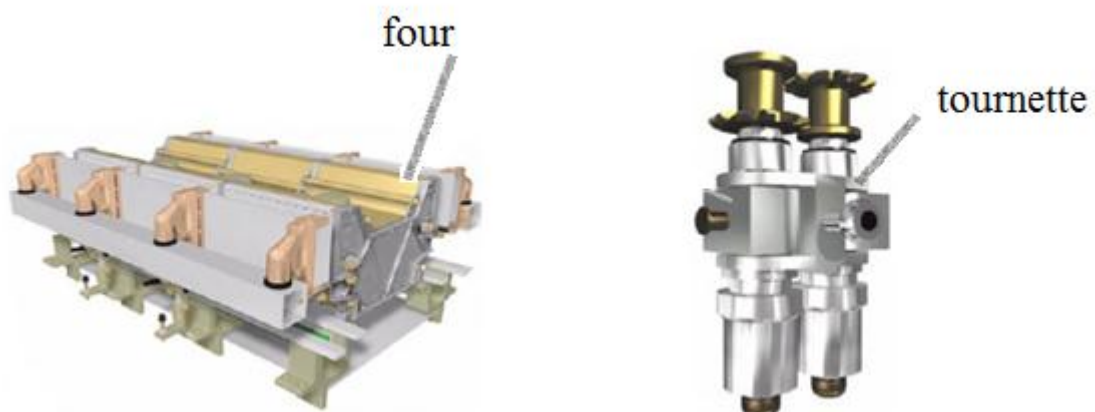


Figure I. 7 Four et tournette de la souffeuse SBO4 [1]

#### I.8.4 La table de transfert

Equipée de deux roues (1, 2), elle assure le transfert des préformes chaudes vers la roue de soufflage (roue 1) et le transfert des articles soufflés vers la sortie machine (roue 2).

Les roues (1, 2) sont équipées de bras qui saisissent les préformes et les articles soufflés aux différents points de rencontre

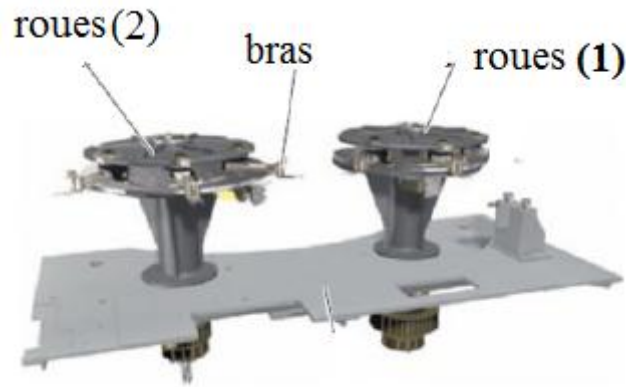


Figure I. 8 la table de transfert de la souffleuse SBO4 [1]

#### I.8.5 La roue de soufflage

Equipée de plusieurs postes de soufflage (2), elle assure la transformation de la préforme chaude en article souhaité. Cette transformation est obtenue par bi-orientation : Etirage mécanique par la tige d'élongation (3) et soufflage par air (40 bar) de la préforme dans un moule (4) parfaitement verrouillé.

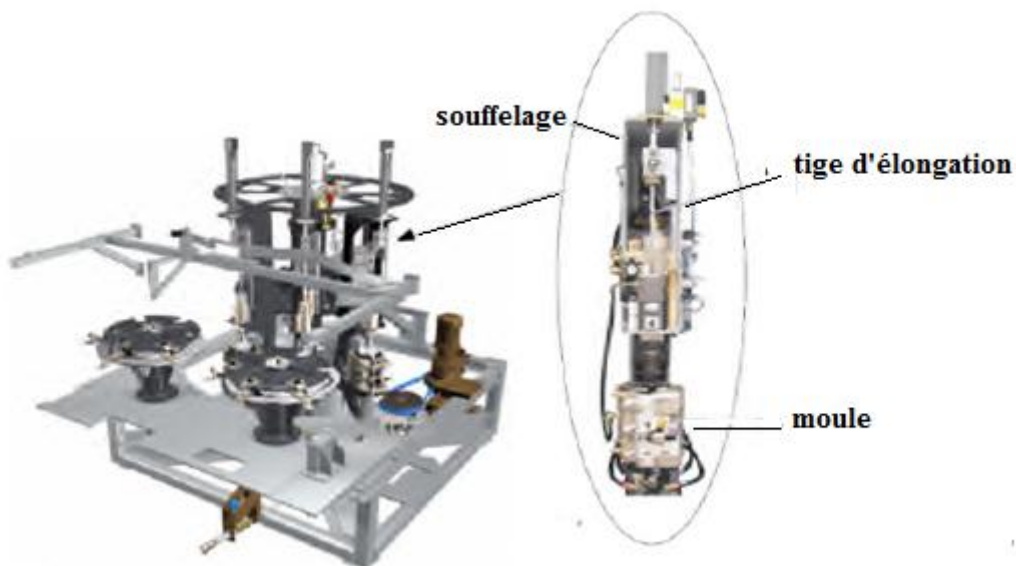


Figure I. 9 la roue de soufflage de la souffleuse SBO4 [1]

### I.8.6 La sortie Bouteilles

Dès sa transformation (soufflage) accomplie, l'article fini est transféré vers la sortie. Les roues à encoches entraînent les articles finis sur les guides de sortie.

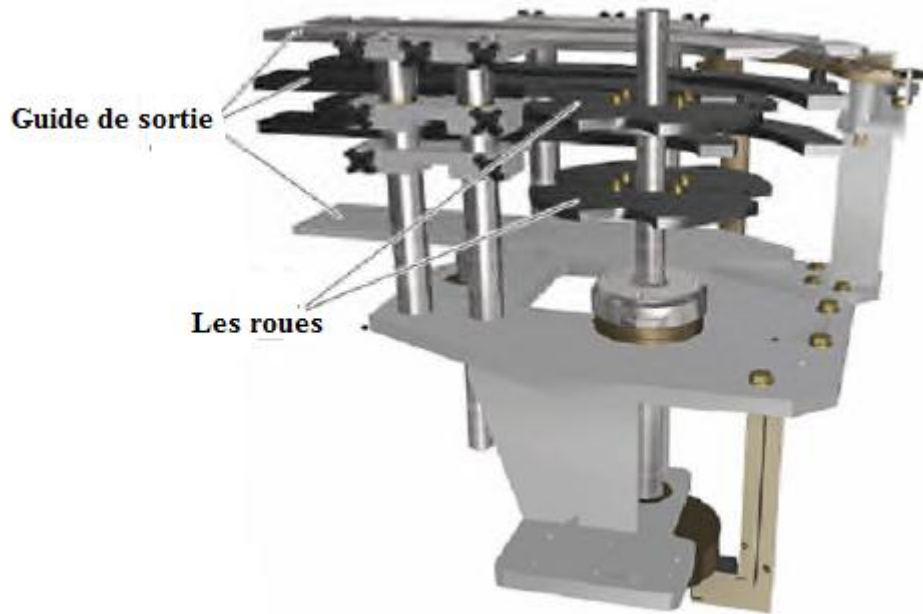


Figure I. 10 sortie de bouteilles de la souffleuse SBO4 [1]

### I.8.7 Les tableaux de commande des circuits hydraulique et pneumatique

Tableau pneumatique 7 bars : circuit de vérinage.

Tableau pneumatique 40 bars : circuit de soufflage.

Tableau hydraulique : circuits de refroidissement et/ou de réchauffage des moules et de refroidissement du four.



Figure I. 11 Les tableaux de fluides de la souffleuse SBO4 [1]



### I.8.8 Le poste de contrôle et de commande (P.C.C)

Le pupitre de la machine de soufflage est constitué d'un poste de contrôle et de commande à écran tactile et d'une imprimante. Le pupitre sert à entrer les données de fonctionnement, les ordres opératoires et à visualiser la gestion de la machine.

Il enregistre les différents profils de fabrication, transmet les alarmes à l'opérateur, gère le traitement des bouteilles, les incidents de traitement et l'historique de fonctionnement.



**Figure I. 12**Le poste de contrôle et de commande (p.c.c) de la souffleuse SBO4[1]

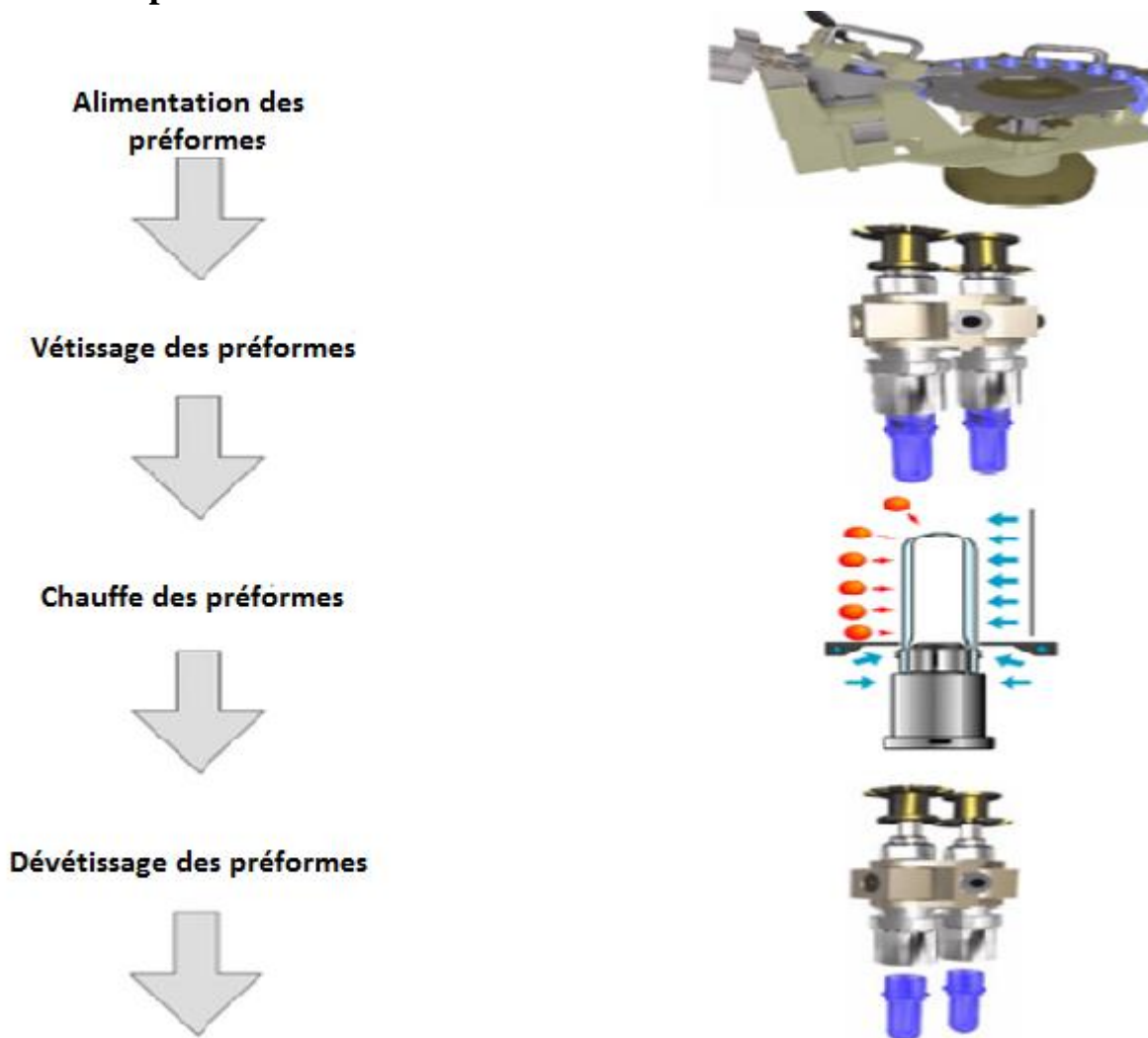
### I.8.9 L'armoire électrique

Contient les différents éléments de contrôle. Des automates associés au P.C.C. et au système de fonctionnement de la machine de soufflage gèrent les différents éléments du système.



Figure I. 13L'armoire électrique de la souffleuse SBO4 [1]

**I.9 Principe de fonctionnement de la souffleuse SBO 4**



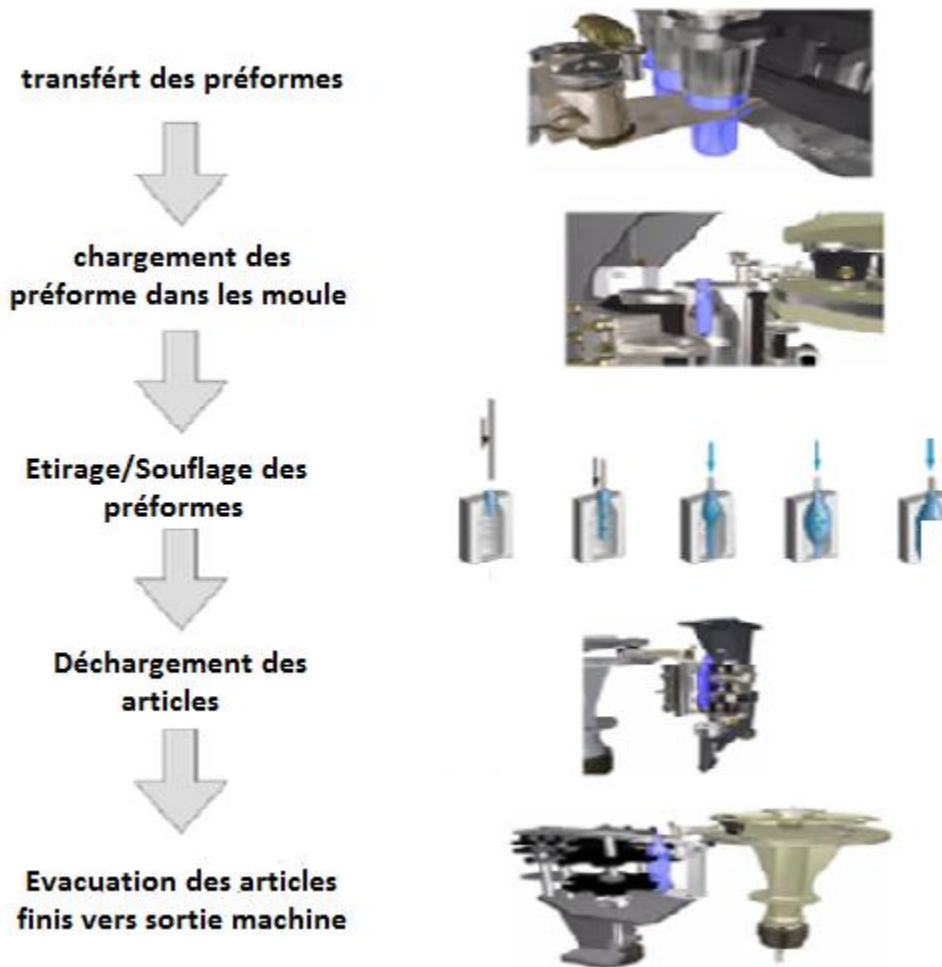


Figure I. 14 Principe de fonctionnement de la souffeuse SBO4 [1]

### I.9.1 Roue de soufflage

La couronne d'orientation montée à la base de la roue mobile, assure le guidage et l'entraînement

La roue de soufflage comprend :

4 Unités de soufflage-étirage situées à la périphérie de la roue.

▪ Chacune des 4 unités de soufflage comprend :

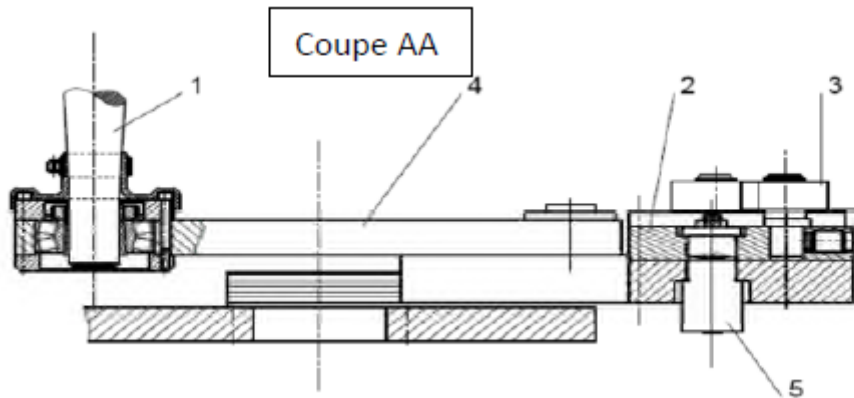
- \* Une unité porte moule.
- \* Une tuyère de soufflage.
- \* Une vanne 3 voies.
- \* Un ensemble d'étirage.
- La partie centrale d'arrivée d'air.
- La partie centrale d'arrivée d'eau.

- La roue fixe porte cames.
- Une table des transferts.

### I.9.2 Commande ouverture / fermeture de moule

La bielle inferieure est montée sur son axe par l'intermédiaire d'une frette conique. Celle-ci permet le réglage de la fermeture des moules.

En cas d'incident mécanique, elle permet aussi le glissement des pièces l'une par rapport à l'autre :



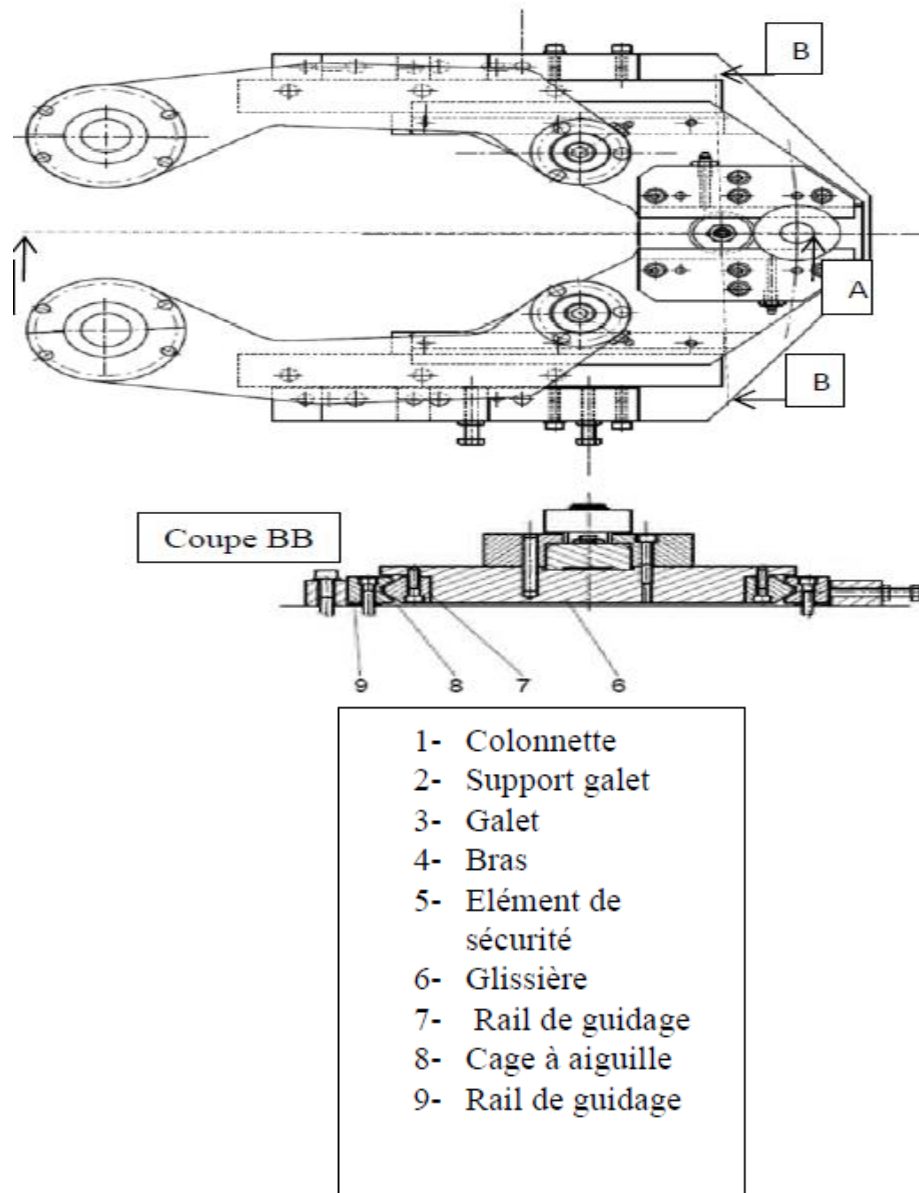


Figure I. 15 commande ouverture fermeture de moule de la souffleuse SBO4 [1]

### I.9.3 Verrouillage GUPM

GUPM (grande unité porte moule).

Les principaux éléments constitutifs de ce verrouillage sont :

- 1 Equerre droite
- 1 Equerre gauche
- 1 Arbre monté dans l'équerre droite. Il coulisse dans 2 bagues en acier traité.
- 1 Support équipé d'un galet monté à l'extrémité inférieure de l'arbre.

\* Par l'intermédiaire d'une came, il assure le verrouillage et le déverrouillage de l'unité porte moule.

4 Doigts de verrouillage qui coulissent par l'intermédiaire de 4 bagues en acier traité dans l'équerre gauche. Le verrouillage de l'équerre gauche est assuré par l'intermédiaire de 4 bagues en acier traité.

\* Le doigt inférieur est fixé sur le support galet.

\* Les 3 autres doigts sont liés à l'arbre coulissant au moyen d'une tige de liaison.

|                           |
|---------------------------|
| 1- Equerre gauche         |
| 2- Arbre                  |
| 3- Butée                  |
| 4- Bague élastique        |
| 5- Bagues en acier traité |
| 6- Equerre droit          |
| 7- Doigt de verrouillage  |
| 8- Tige de liaison        |
| 9- Patin en bronze        |
| 10- Support galet         |
| 11- Galet                 |

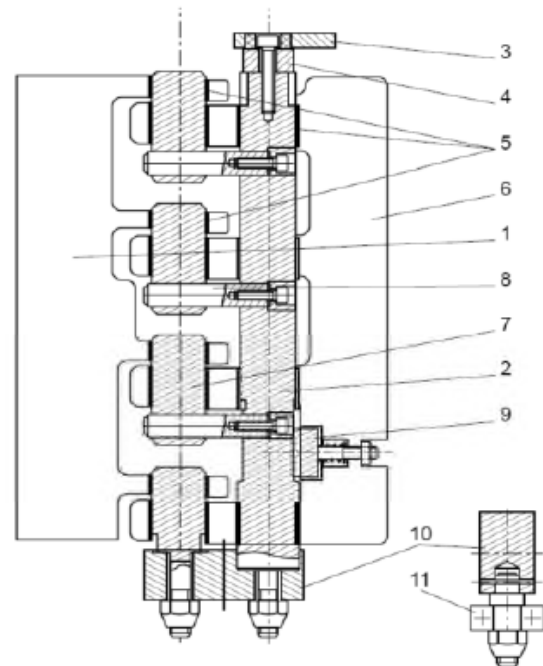


Figure I. 16 Verrouillage GUPM de la souffleuse SBO4 [1]

### I.9.4 Fond de moule

Dans le cas d'une production d'articles à fonds auto stables, le moule ne comprend plus deux mais trois parties. Seule une partie escamotable permet le démoulage de ce type de fond.

Cette troisième partie prend place sur l'ensemble fond de moule qui est constitué des parties suivantes :

- **1 vérin pneumatique à double effet** : avec amortissements pneumatiques réglables, fixé sur la table de la partie tournante.

- **1 support de fond de moule** : vissé à l'extrémité de la tige du vérin, sur lequel sont branchées les tuyauteries d'eau de régulation en température.

Deux colonnes montées dans des douilles à billes assurent le guidage anti rotation.

1 rehausse de fond de moule. Cette pièce intermédiaire est personnalisée suivant la hauteur des moules.

Des joints toriques placés dans des gorges assurent l'étanchéité du circuit d'eau.

Une cale pliable placée entre le support vérin et la table permet d'obtenir un réglage correct du vérin pneumatique lors du montage.

La commande du vérin pneumatique est assurée par des vannes pneumatiques actionnées par la came de fond de moule.

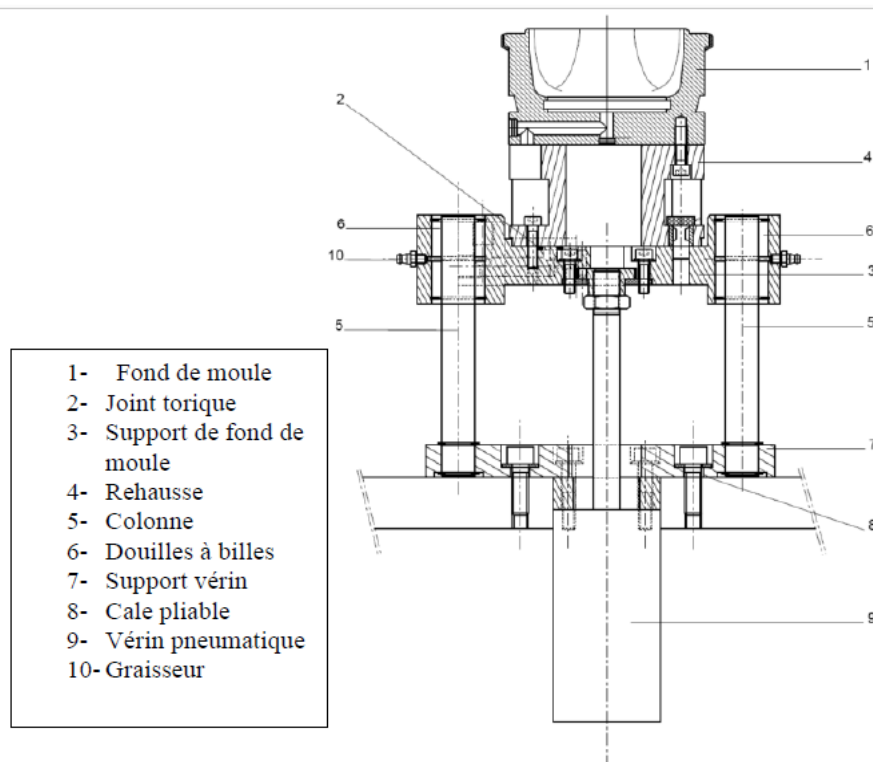


Figure I. 17fond de moule de la souffleuse SBO4 [1]

### I.9.5 Tuyère de soufflage

L'ensemble vérin de tuyère est un dispositif pneumatique qui permet d'appliquer la tuyère sur le buvant de la préforme et de la mettre en pression pour former la bouteille

L'ensemble est traversé par la tige d'élongation.

✓ On distingue 2 fonctions :

- La partie commande.
- La partie soufflage.

\* L'une et l'autre sont assurées par la tige creuse.

A l'extrémité de la tige creuse, est vissée la tuyère équipée personnalisée à la préforme employée.

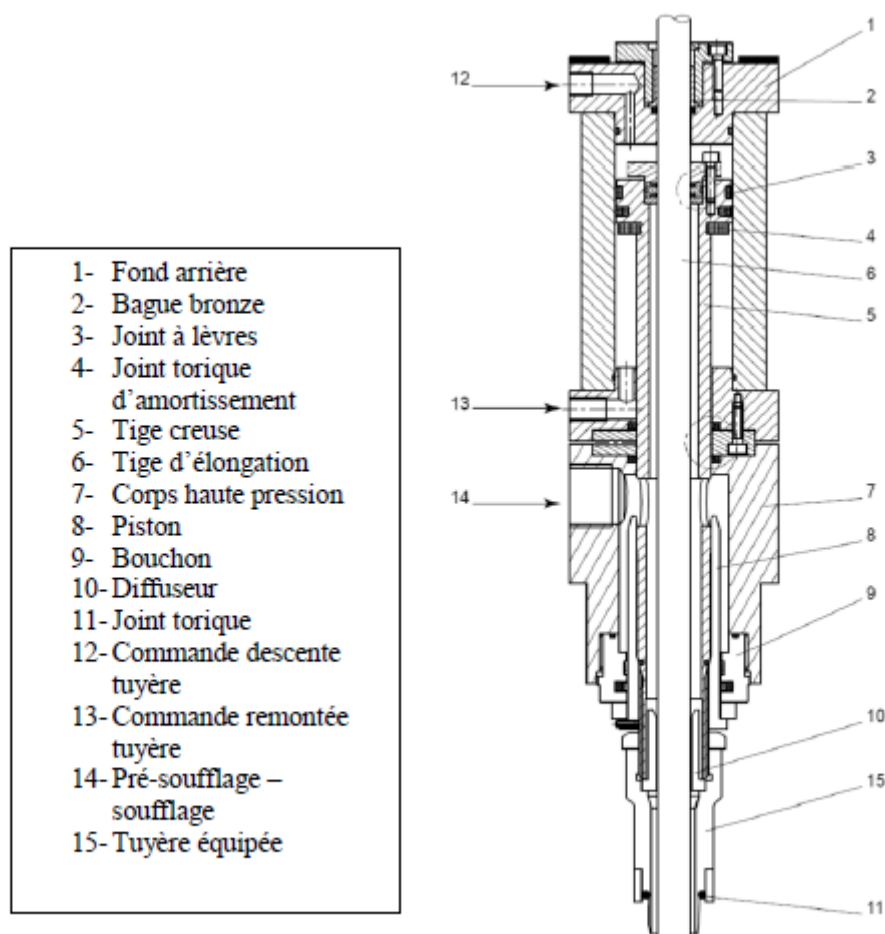


Figure I. 18 Tuyère de soufflage de la souffleuse SBO4 [1]



### **I.9.6 Étirage**

Le rôle de l'étirage est d'allonger mécaniquement les préformes après leur passage dans le four.

✓ L'ensemble se décompose de la façon suivante :

- \* 1 Vérin pneumatique fournit l'énergie nécessaire à l'étirage.
- \* 1 Coulisseau guidé par deux colonnes.
- \* Une tige d'élongation fixée sur le coulisseau au moyen d'une clame.
  
- \* 1 Galet en contact avec une came, dans la phase d'élongation, permet la régulation de la vitesse de l'étirage.
  
- \* Deux butées personnalisées à la meulerie.

La tige d'élongation est guidée dans le vérin de tuyère. Elle pénètre à l'intérieur de la préforme et l'étire.

### **I.9.7 Vanne à voies**

Le rôle de la vanne à 3 voies est de commuter les pressions de pré-soufflage et de soufflage et d'assurer la fonction de dégazage de la bouteille.

#### **I.9.7.1 Description**

- \* d'un corps.
- \* d'un piston.
- \* d'un levier équipé de roulements.

#### **I.9.7.2 Principe de fonctionnement**

Au passage sur les cames de pré-soufflage, puis de soufflage, le levier est actionné et commande le mouvement du piston qui détermine suivant sa position les fonctions :

- \* Dans la position sortie : c'est la fonction de dégazage.
- \* Dans la position milieu : c'est la fonction de pré-soufflage.
- \* Dans la position rentrée : c'est la fonction de soufflage.

### I.9.8 Circuits d'air

➤ Les principales fonctions pneumatiques sont :

- \* L'étirage réalisé par des vérins à double effet
- \* Les commandes des vérins de fonctions annexes
- \* Le pré-soufflage.
- \* Le soufflage.

➤ L'alimentation en air est réalisée par deux circuits distincts :

- \* 1 circuit a haute pression.
- \* 1 circuit a basse pression.

### I.9.9 Circuits d'eau

➤ L'ensemble du circuit eau se décompose de la façon suivante :

- ✓ Un tableau hydraulique qui permet le raccordement de la machine à l'installation de traitement de l'eau.
- ✓ Un joint tournant eau chaude (en option).
- ✓ Un raccord rotatif eau froide.
- ✓ Un ensemble de tuyauteries embarquées sur la machine, permettant l'alimentation des moules et des fonds de moule.
- ✓ Un circuit d'alimentation des rampes de refroidissement et de protection des cols des préformes dans le four infrarouge.

On distingue principalement 2 circuits :

- En standard

\* Le circuit eau froide pour les moules, les cols et les fonds.

- En option :

\* Le double circuit :

- Circuit eau froide pour le refroidissement des cols et des fonds.

- Circuit eau chaude pour les moules quand le processus de fabrication de la bouteille le nécessite.

La distinction entre ces circuits, s'opère à partir du tableau hydraulique.

### I.10 Unité de soufflage

L'unité de soufflage assure la transformation des préformes chauffées à l'état de bouteilles formées. La cadence de production d'une machine est en fonction du nombre d'unités de soufflage (cadence standard : 12000 bouteilles/ heure/ moule) [1].

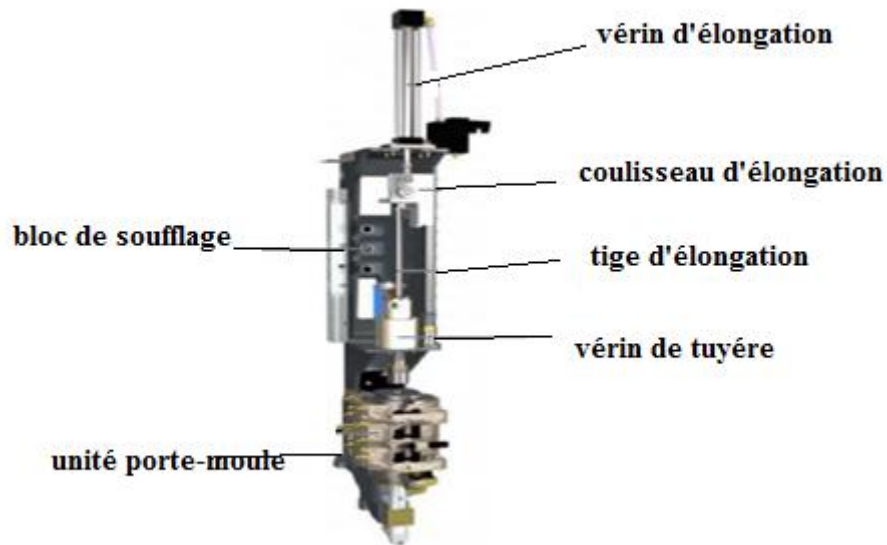


Figure I. 19 les composant de l'unité de soufflage [1]

### I.10.1 Diagramme du cycle

Il illustre le parcours d'une unité de soufflage dans son cycle complet de fonctionnement. Les valeurs angulaires de certaines actions sont approximatives et peuvent varier en fonction du processus de fabrication [1].

## II.1 Introduction

La rétro-conception transforme, dans le concept de modélisation, un modèle de niveau de concept spécifique en modèle d'un niveau de concept plus élevé; ce qui constitue une étape largement reconnue comme étape déterminante dans le cycle de conception du produit.

La rétro-conception s'oppose à l'ingénierie directe qui est un processus produisant les pièces physiques à partir du modèle géométrique. Beaucoup de techniques ont été développées et exposées dans une vaste littérature sur la rétro-conception.

La méthodologie de la rétro conception a été combinée avec de nombreuses méthodes de modélisation telles la modélisation géométrique et la modélisation par les caractéristiques. La reconstruction en trois dimensions (3D) est une des branches principales de la rétro-conception où un objet physique est transformé en modèle géométrique de diverses représentations

## II.2 .Définition de la rétro conception

La rétro-conception ou la rétro-ingénierie (en anglais : reverse engineering), est une activité qui peut être utilisée dans plusieurs domaines tels que l'ingénierie mécanique, électrique, génie civil, informatique, médicale, aéronautique, ingénierie navale, etc...

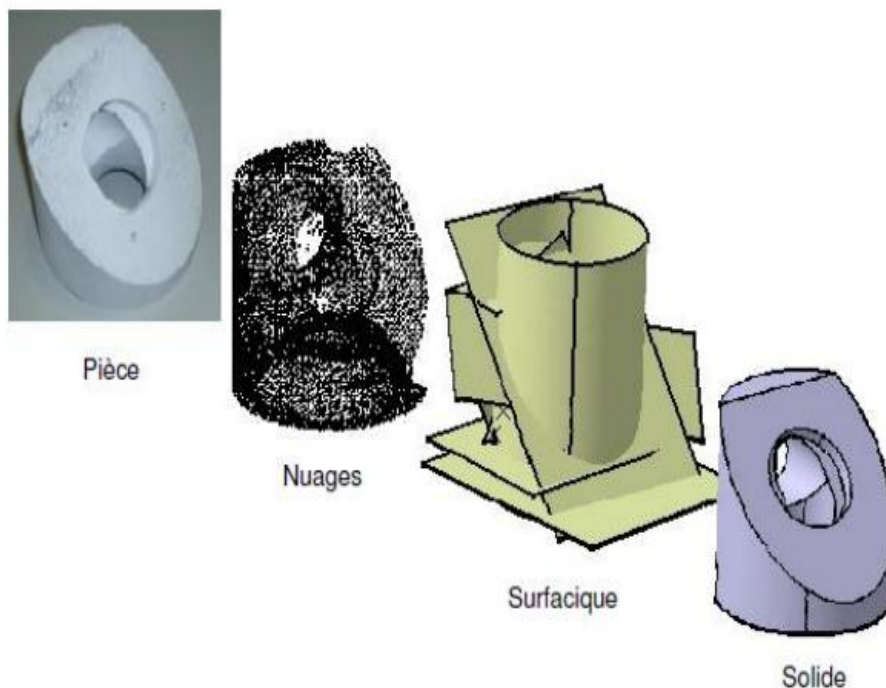
En ingénierie mécanique, la rétro conception est l'activité qui consiste à réaliser des fichiers CAO (Conception Assistée par Ordinateur) à partir de l'objet physique. Plus précisément, la rétro conception est le concept fondamental de la fabrication d'une pièce en se basant sur son modèle original ou physique sans l'utilisation d'un dessin technique

Dans le domaine de la conception mécanique, la rétro conception fait partie d'un processus global débutant par la numérisation de la pièce d'étude, ce qui termine à la génération d'un nuage de points. Les domaines d'application de la rétro conception peuvent être très divers. En effet, la rétro conception concerne le prototypage virtuel, la métrologie, la sauvegarde du patrimoine industriel ou des besoins industriels. Ces domaines font appel à la rétro conception pour des raisons industrielles différentes.[2]

## II.3 Le principe de rétro conception

Le principe de la rétro conception repose sur la collecte des données sous forme d'un nuage de points issu de la surface de l'objet à scanner numériquement (au moyen d'un scanner 3D) ou à palper mécaniquement (Figure II.1). Ce nuage de points est traité par des fonctions CAO permettant la reconstruction de surfaces à partir desquelles un modèle paramétrique est

codé fini par l'utilisateur et le système générateur (choix des cotes et des relations inter cotes, tolérance...).[2]

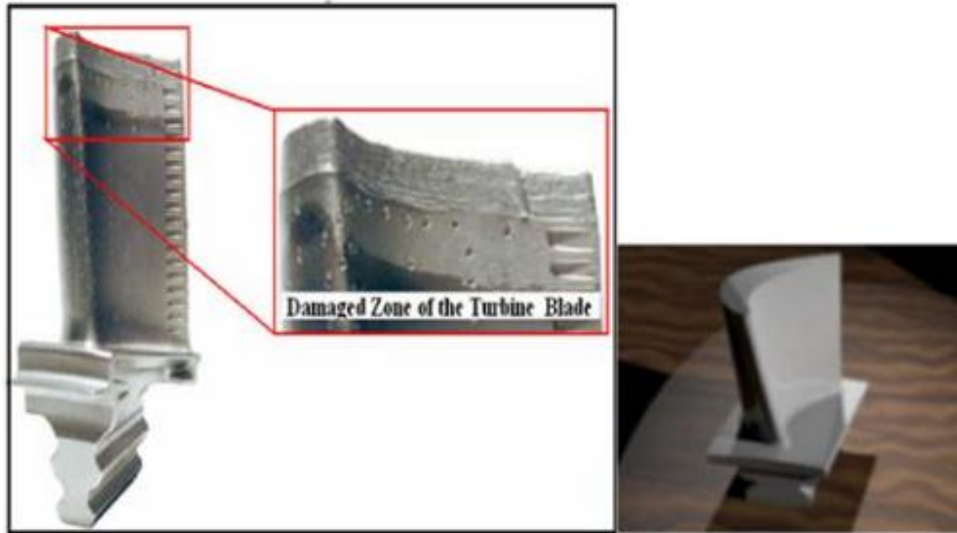


**Figure II. 1** Les étapes de la méthode de retro conception [2]

#### II.4 Les raisons industrielles du rétro-conception

La rétro-conception peut concerner des objets aussi grands que l'avion jusqu'aux plus petits comme la puce électronique. La rétro conception est présente à de nombreuses étapes du cycle de vie d'un produit. Cette généralisation s'explique par l'amélioration des techniques de numérisation (ROMER) et des performances de calculs de reconnaissances géométriques. Au cours des années, plusieurs raisons industrielles concrètes peuvent être recensées. Nous citons les raisons les plus importantes :

- Composants usés ou cassés pour lesquels il n'y a aucune source d'approvisionnement .Ce contexte ne concerne les pièces plus ou moins anciennes qui ont subi un changement dans leurs géométries dû à des usures ou cassures (figure II.2).[3]

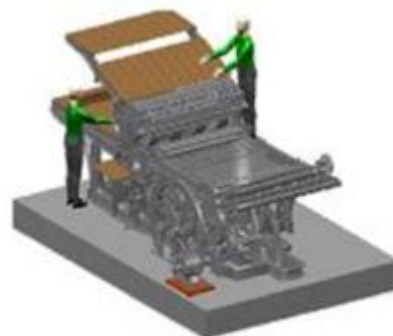


**Figure II. 2**La rétro conception d'une aube de turbine usée[2]

- La conception originale n'est pas supportée par une documentation suffisante ou adéquate (Figure I.3). Ce cas concerne la muséologie et la sauvegarde du patrimoine industriel où il n'y a aucune information sur la structure du produit, c'est-à-dire il n'y a pas de plan, pas de schéma, seule, la pièce physique est disponible.



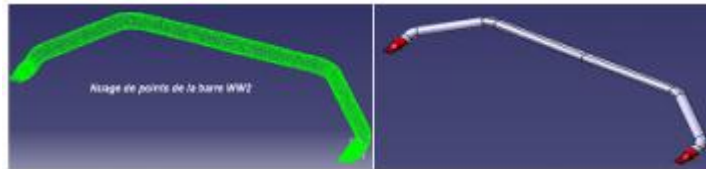
a-une photo de l'imprimerie



b- modèle CAO

**Figure II. 3**Exemple de rétro-conception de l'imprimerie[3]

- Le modèle original CAO n'est pas suffisant pour soutenir des modifications. C'est le cas des pièces où pour des raisons de propriétés industrielles (Figure I.4), certaines informations n'ont pas été fournies au sous-traitant de production. Dans ce cas, une rétro-conception a lieu afin d'effectuer quelques modifications pour en assurer la bonne conformité vis-à-vis de la production.[2]



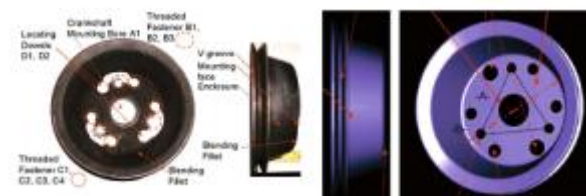
**Figure II. 4** La rétro-conception d'une barre de stabilisatrice[2]

Le fabricant original n'existe plus ou ne fabrique plus le produit, mais il y a une nécessité de fabriquer le produit (Figure I.5). C'est le cas des pièces à longue durée de vie dans les domaines du transport et militaire. La rétro-conception a dans ce cas pour finalité d'améliorer la fabrication de pièces obsolètes pour fabriquer des pièces de rechange.[3]



**Figure II. 5**Rétro-conception d'un bouchon de voiture (Delahaye)[2]

- Amélioration de la performance et/ou les fonctionnalités de produit. Ce contexte concerne les pièces qui ont été mal conçues et qui doivent être mises à jour pour assurer des bonnes fonctionnalités (Figure I.6).



**Figure II. 6**La rétro-conception d'une pompe de direction assistée[2]

- Manque de pièces additionnelles (pièces de rechange).
- Actualisation des matériaux désuets ou des processus de fabrication désuets. Ce cas concerne les pièces anciennes. Le but de la rétro-conception dans ce contexte est de ré-fabriquer une pièce avec des matériaux et des procédés d'aujourd'hui.
- Analyse des fonctionnalités des produits des concurrents. La rétro-conception peut être aussi appliquée dans le but d'analyser et d'acquérir les connaissances de fabrication, de fonctionnalités et autres d'une pièce d'un concurrent. Bien qu'évidente, cette raison est en fait souvent en marge des raisons principales.
- Détection des contrefaçons chez des produits concurrents.
- Compréhension des processus de conception d'un produit concurrent [7]. On remarque que les besoins de la rétro-conception sont larges et variés et concernent des composants anciens comme plus modernes. Il est évident que les exemples cités ci-dessus ne dressent pas une synthèse exhaustive des raisons industrielles. [3]

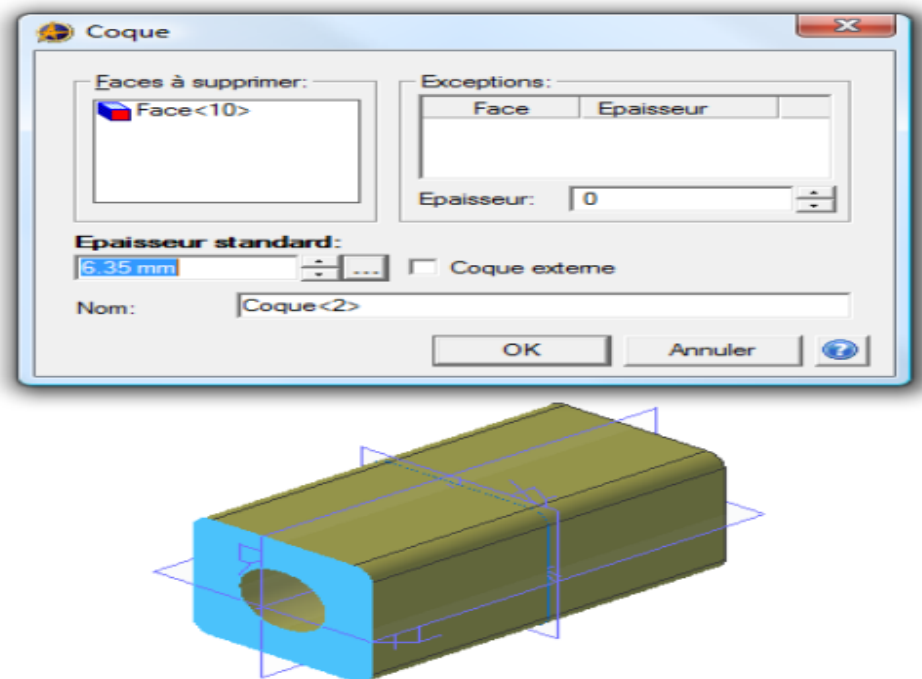
## II.5 Les logiciels utilisés pour la rétro conception

Aujourd'hui, de nombreux logiciels existent sur le marché pour répondre à l'emploi industriel et pour supporter l'activité de rétro conception. Ces logiciels permettent d'obtenir un modèle CAO. On trouve plusieurs logiciels :

### II.5.1 Geomagic

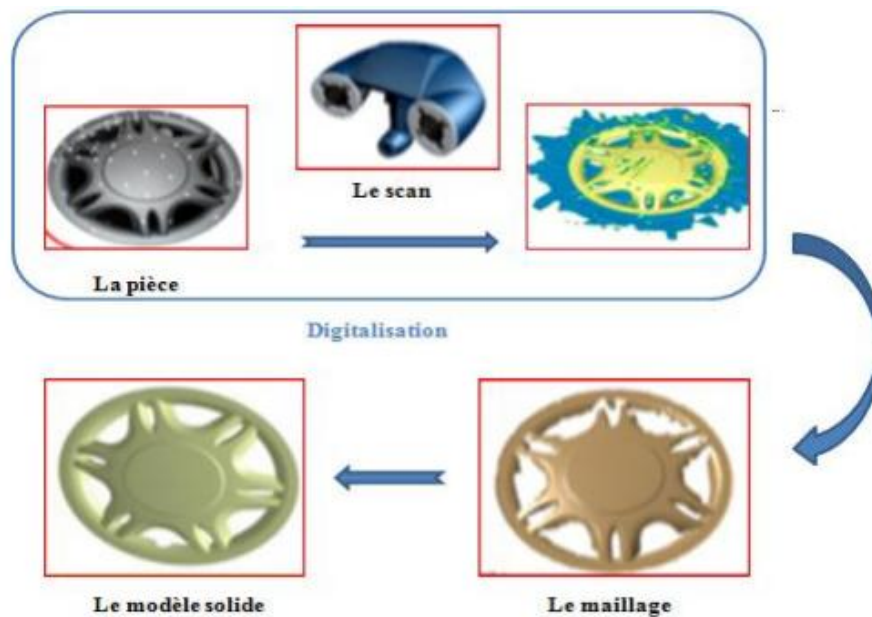
Ce logiciel est parmi les logiciels ayant des fonctions les plus puissantes pour la rétro-conception. Dans Geomagic studio, il est possible de modifier le nuage de points, le maillage et les surfaces construites dans une même application. Il est aussi possible d'extraire des surfaces orientées et de créer des surfaces CAO. Une reconnaissance automatique du type de surface (plan, cylindre, cône, sphère) et des surfaces à bases de contours (extrusions et révolutions) peut être faite. Des opérations d'extrusion, de révolution, et d'enlèvement de matière (Figure I.7), utilisant comme esquisse les contours détectés, peuvent être exécutées. Des pièces complexes telles que des aubes de turbines peuvent être modélisées en volumique. En effet, les contours d'esquisse sont automatiquement extraits et l'utilisateur peut ensuite redessiner une nouvelle esquisse par-dessus et générer les fonctions d'extrusion, de balayage etc... [4]





**Figure II.7** L'opération d'extrusions

Il existe encore Geomagic Design X anciennement nommé Rapidform.. Il est conçu pour la rétro-conception surfacique et solide. Un nouveau module a été ajouté sur la version 2014 : la modélisation rapide. Ce module accélère la création d'une entité par la détection automatique et la création des extrusions, des filets, des révolutions, des balayages, etc. Il permet de combiner le traitement des maillages issus de scan et les fonctionnalités de modélisation 3D solide paramétrique, de sorte à créer des modèles solides modifiables [4]

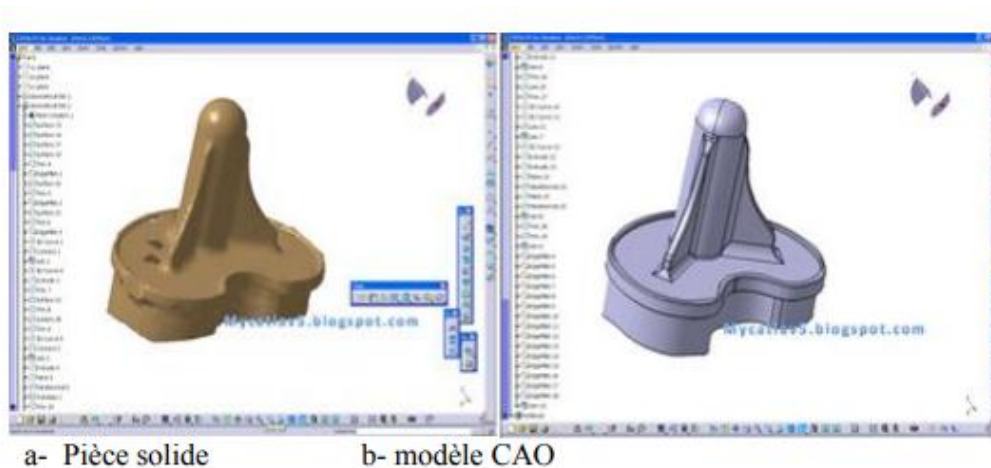


**Figure II. 8** Exemple de rétro-conception avec Geomagic.

## II.5.2 CATIA

CATIA en anglais signifie (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) la traduction en français (conception en 3D interactive assistée par ordinateur). Le logiciel est conçu par Dassault Systèmes et est un logiciel de CAO 3D volumique et surfacique qui bénéficie d'une très large utilisation. Ce logiciel possède des modules dédiés à la rétro-conception comme DES (Digitized Shape Editor) et QSR (Quick Surface Reconstruction). DSE est utilisé dans les premières phases du cycle de rétro-conception. Dans ce module, on peut importer des diverses formes de données numériques (maillages, nuages de points, etc.).

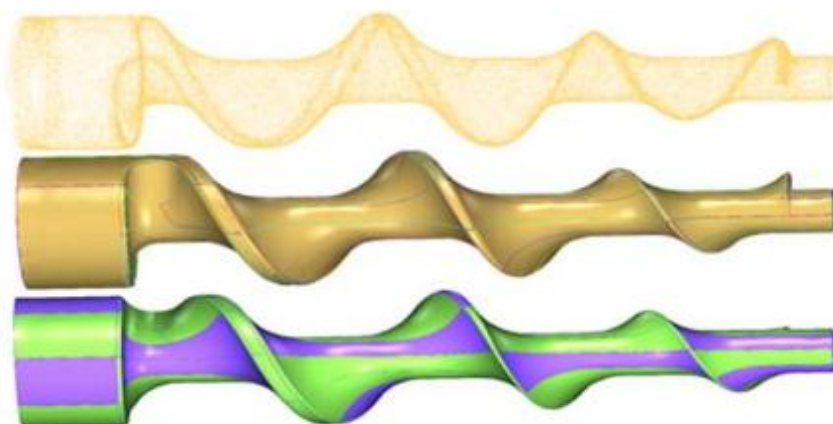
DSE permet d'appliquer des opérations diverses sur ces données numérisées comme le traitement des nuages de points en supprimant les points parasites ou en conservant uniquement les zones souhaitées. Après le traitement, DSE permet de créer un maillage sur le nuage de points. Une fois le maillage effectué et traité, DES permet de reconstruire des entités géométriques (courbes) pour passer à la phase de création de surfaces. Le modèle résultant de ce module est principalement composé de surfaces formant par la suite un modèle CAO solide figé. QSR est un module de CATIA permettant la reconstruction semi-automatique ou automatique des surfaces à partir de nuage de points [4]



**Figure II. 9** Pièce solide et la modèle CAO.

### II.5.3 3DReshaper

Est une solution de reconstruction de surfaces 3D développée par Technologiste. Cette solution est directement interfacée avec un bras de mesure transportable ROMER. Elle permet la numérisation, la récupération et le traitement de nuage de points (coloration automatique des nuages à l'import, nettoyage et réduction du bruit de mesure), le maillage (maillage 2D, 3D, bouchage de trou, lissage selon courbures et réorganisation), la modélisation, la rétro conception, la reconstruction de surface, le contrôle 3D et l'inspection (alignement de la mesure avec le théorique, comparaison couleur et édition de rapport d'inspection). 3DReshaper propose de faire de la préparation pour la reconstruction surfacique telle que l'extraction de formes géométriques (plan, cylindre), l'extraction de lignes caractéristiques et les calculs des sections[4]



**Figure II. 10** Exemple d'une pièce industrielle retro-conçue avec 3DReshaper

#### **II.5.4 Solid Works**

Est un logiciel qui permet de modéliser en 3D en utilisant la conception paramétrique (il s'agit de définir une entité par des paramètres qui peuvent être modifiés facilement). Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Pour nous, nous nous sommes surtout servis du premier concept. Ces fichiers sont liés. En effet, une quelconque modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés. Par exemple si on modifie une pièce, alors l'assemblage correspondant sera modifié également[2]



# ***CHAPITRE III***

## **Analyse technologique du système**

### III.1 Introduction

Dans cette partie on va étudier le diagnostic des pannes et les hypothèses qui peuvent être l'une des raisons qui sont liés à l'endommagement des axes (galet, fond de moule), des vis de fixation de rails de guidage (la came de commande, commande ouverture/fermeture de moule), après une étude approfondie du fonctionnement de la roue de soufflage et particulièrement came de commande ouverture et fermeture du moule.

### III.2 Analyse technologique du système

LA machine de soufflage SBO4 peut être décomposée en sous-ensembles, sachant que les mouvements sont contrôlés par des cames et des galets suiveurs.

Dans notre étude on s'intéressera aux composants de la came de commande de la roue de soufflage, parce que :

- L'un des composants ne fonction pas correctement.
- Ou elle ne fonctionne pas régulièrement.
- Ou bien ce composant n'est pas bien monté

### III.3 La description de la came de commande (came escamotable)

L'ouverture et la fermeture des moules est obtenue à partir d'un coulisseau équipé d'un galet en prise dans une came.

La came O/F de moule (escamotable) est un ensemble de pièces et d'éléments d'assemblages, elle est posé sur un support fixé par des vis (vis H M16X 70 CL.10-9 ZING/BIC) qui se trouvent au-dessous du bâti de la machine, un deuxième support est fixé sur le premier à l'aide du vis (CHC M12 X 45/45 CL 10-9 ZING/BIC) ce dernier contient deux rails de guidage et deux cages à aiguilles qui permettent à la came de glisser, cette dernière est fixer par 3 vis (M8 X 25/25 CL .12.9)

Deux ressorts de compression à base de rondelles à ressort type Belleville, chaque ressort contient 16 rondelles, huit rondelles de référence (35.5 X 18.3 X 2.0) et les huit autres, de référence (35.5 X 18.3 X 1.25) qui sont montées en série

Entre ces deux ressorts il y'a une butée réglable pour la sécurité de la came de référence (H M12 65 CL 8-8).

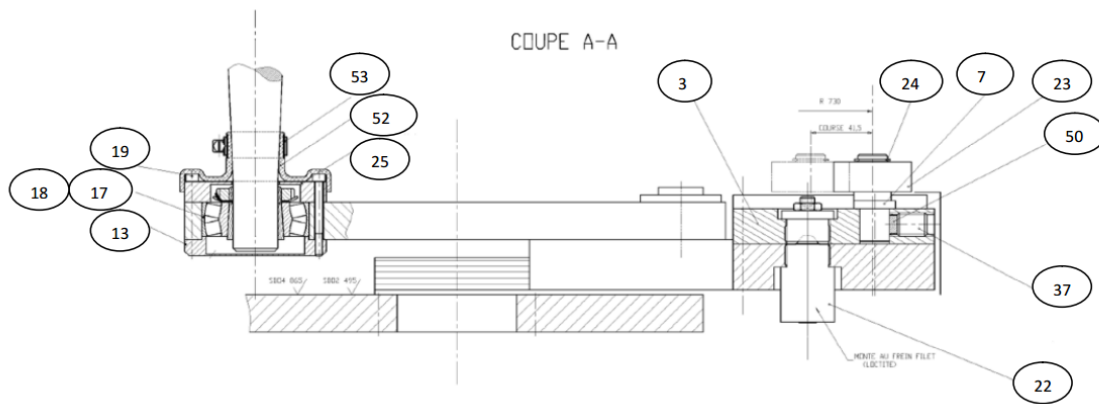


Figure III. 1 commande O/F du moule coupe A-A [1]

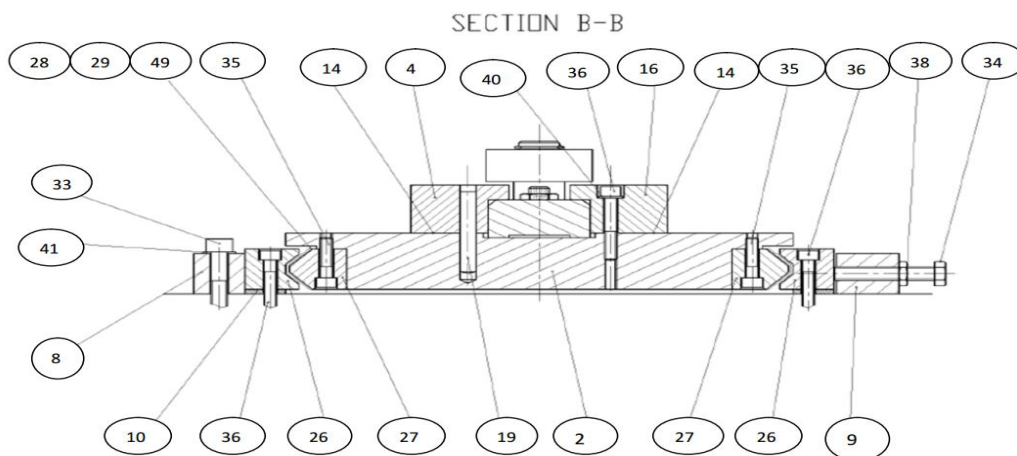


Figure III. 2 commande O/F du moule coupe B-B [1]

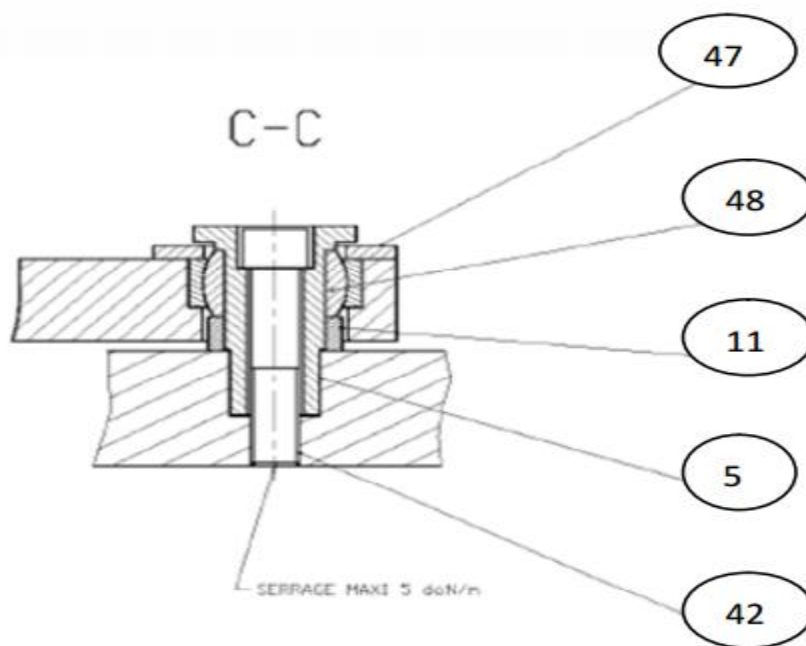


Figure III. 3 commande O/F du moule coupe C-C [1]

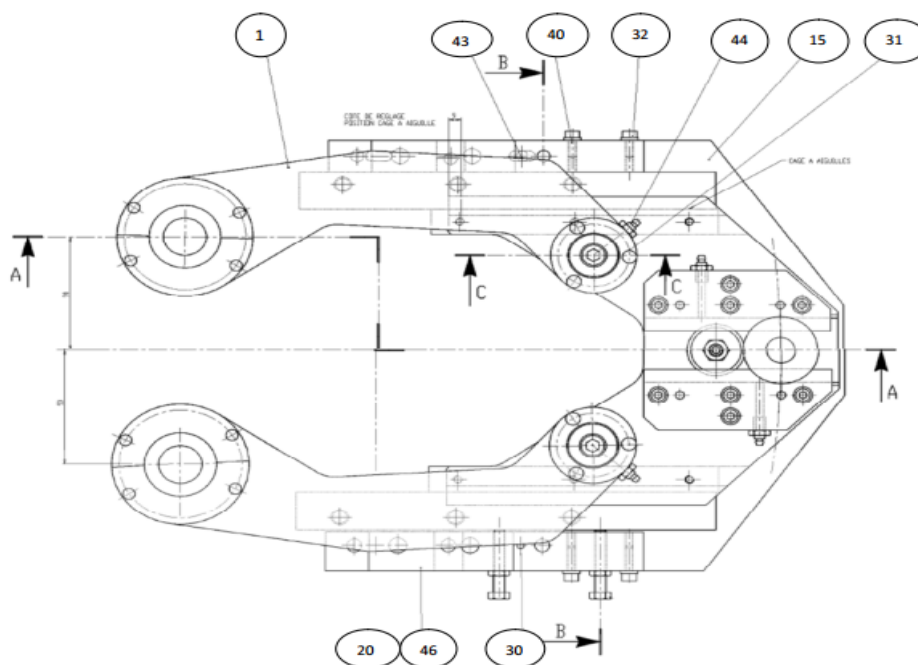


Figure III. 4 Commande O/F du moule de la souffleuse SBO4[2]



- Désignation des composantes de la commande O/F du moule de la souffeuse SBO4 :

| N° | designation                | fonction   |
|----|----------------------------|--|
| 1  | paire de bras              | transformation du mouvement translation en mouvement de rotation |
| 2  | coulisseau                 | ouverture fermeture moule  |
| 3  | support galet              | fixation galet   |
| 4  | glissiere droite           | fixation support galet coté droit                                |
| 5  | axe                        | union bras et coulisseau   |
| 7  | axe de galet               | reglage galet par rapport a la came                              |
| 8  | barrette                   | renforcer la rail de guidage                                     |
| 10 | cale                       | ajuster la hauteur de la rail de guidage                         |
| 11 | entretoise                 | ajuster la hauteur des bras                                      |
| 13 | entretoise                 | protection inferieur du roulement                                |
| 14 | CALE PELABLE               | ajuster la hauteur de la glissiere                               |
| 15 | BUTEE DE SECURITE          | securiser le coulisseau  |
| 16 | GLISSIERE GAUCHE           | fixation support galet coté gauche                               |
| 17 | ROULEMENT A ROTULE         | rotation des bras et unite porte moule                           |
| 18 | MANCHON DE SERRAGE         | fixation du roulement  |
| 19 | GOUPILLE CYLIND            | emplacement de la glissiere droite                               |
| 20 | VIS FHC M 6X 20            | fixation support bras  |
| 22 | LIMITEUR D'EFFORT          | limite les efforts sur le galet                                  |
| 23 | GALET A BILLES             | commande ouverture fermeture moule                               |
| 24 | ANNEAU ELASTIQUE EXTERIEUR | fixation du galet sur axe galet                                  |
| 25 | CAPOT                      | protection superieur du roulement                                |
| 26 | RAIL DE GUIDAGE            | guidage du coulisseau  |
| 27 | RAIL DE GUIDAGE            | guidage du coulisseau  |
| 28 | CAGE A AIGUILLES           | facilite le mouvement du coulisseau en translation               |
| 29 | PIECE D'EXTREMITE          | blocage de la cage a aigille                                     |
| 30 | GOUPILLE CYLIND            | emplacement de la rail de guidage                                |
| 31 | VIS FHC M 5X 10            | fixation du couvercle de la rotule                               |
| 32 | VIS CHC M 6X 16            | fixation de la butée de securite                                 |
| 33 | VIS CHC M 8X 40            | fixation de la barrette  |
| 34 | VIS H M 8X 50              | ajustement de la raille de guidage                               |
| 35 | VIS CHC M 6X 25            | fixation de la raille de guidage LWV                             |
| 36 | VIS CHC M 6X 40            | fixation de la raille de guidage LWM                             |
| 37 | VIS HC M16X 20             | fixation de la cale de pression avec l'axe galet                 |
| 38 | ECROU H M 8                | blocage de la VIS H M 8X 50                                      |
| 39 | VIS CHC M 5X 50            | fixation de la glissiere   |
| 40 | RONDELLE CS Z 6            | renforcer la VIS CHC M 6X 16                                     |
| 41 | RONDELLE CS Z 8            | renforcer la VIS CHC M 8X 40                                     |
| 42 | VIS CHC M12X 60            | fixation de la rotule sur le bras                                |
| 43 | GOUPILLE CYLIND 8X 30      | emplacement de la barrette                                       |
| 44 | GRAISSEUR                  | graissage de la rotule   |
| 46 | SUPPORT BRAS               | supporter le bars  |
| 47 | COUVERCLE                  | protection de la rotule  |
| 48 | ROTULE GE 25 ES            | rotation des bras sur le coulisseau                              |
| 49 | VIS CS M 6X 10             | fixation de la rail de guidage                                   |
| 50 | CALE DE PRESSION           | protection de l'axe galet  |
| 51 | GRAISSEUR 9.20             | graisser les roulements a rotule                                 |
| 52 | SOUFFLET D'ETANCHEITE      | protection et etancheite du roulement a rotule                   |
| 53 | COLLIER SERFLEX DE 24      | fixation du soufflet d'etancheite                                |

**Tableau III. 1** Composants de la commande O/F du moule de la souffeuse SBO4 [1]

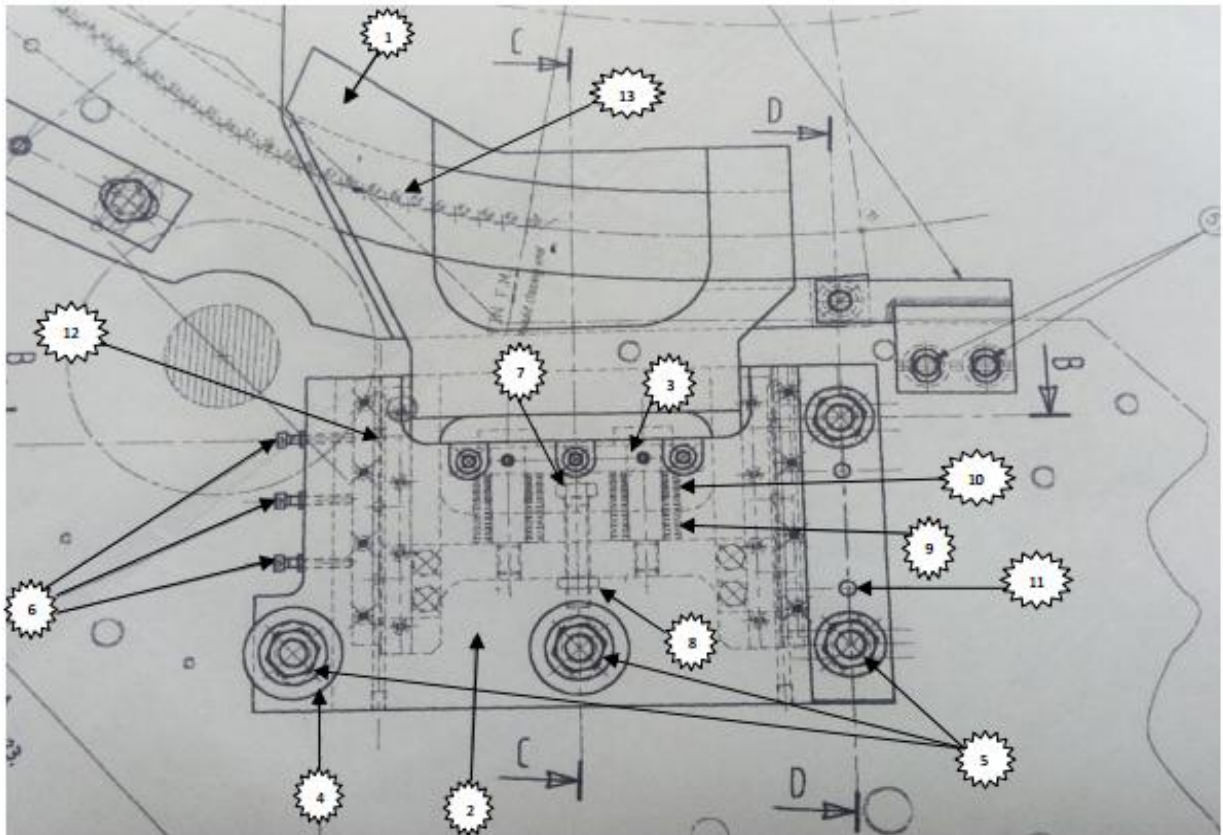


Figure III. 5 la came de commande de la souffeuse SBO 4 [1]

| N <sup>o</sup> de composante | Désignation            | N <sup>o</sup> de composante | Désignation             |
|------------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 01                           | Came fixe              | 08                           | Ecrou                   |
| 02                           | Embase                 | 09                           | Rondelle ressort e=2.0  |
| 03                           | Buté                   | 10                           | Rondelle ressort e=1.25 |
| 04                           | Rondelle               | 11                           | Goupille                |
| 05                           | Vis                    | 12                           | Rail de guidage         |
| 06                           | Vis de rail de guidage | 13                           | Chemin du galet         |
| 07                           | Vis (buté de sécurité) |                              |                         |

### III.3.1 Fonctionnement et rôle de la came escamotable

Le rôle de la came escamotable est la fermeture des moules au moment du passage du galet sur sa trajectoire, dans le cas où le moule est mal fermé c'est-à-dire y'a un mauvais transfert de préformes (présence de bouteille plus la préforme au même temps) il crée des efforts et des chocs au niveau de cette came, les rondelles à ressort les absorbe pour éviter l'endommagement de la came.

- Le rôle de ces rondelles à ressort :
  - Absorber les chocs (amortisseur).
  - Emmagasiner de l'énergie.
  - le maintien de la pièce
  - le rattrapage du jeu progressif
  - la limitation d'effort

### III.4 Proposition de solution

D'après le diagnostic et l'analyse du fonctionnement de la came, on a constaté que le cisaillement des axes et de toutes les pièces endommagées, est dû aux efforts et aux chocs que les rondelles à ressort de type Belleville n'ont pas pu absorber correctement, c'est pour cela on propose de remplacer les rondelles Belleville avec des autres références pour qui il soient plus résistants lorsque les rondelles sont soumis à l'effort de compression

### III.5 Les rondelles à ressorts type Belleville :

#### III.5.1 Historique des rondelles Belleville

Le ressort a trouvé une large application dans les machines industrielles pour son faible encombrement et ses particularités non-linéaires. L'inventeur d'origine n'est pas connu, mais le premier brevet se rapportant à ce type de ressorts remonte à plus de 130 ans en arrière (26/12/1861 pour être précis). Ainsi, Julien François Belleville de Dunkirk s'est vu accorder le premier brevet pour une conception de ressort qui contenait déjà le principe du disque. En 1917, FR-Dubois développe la théorie sur laquelle le calcul du disque ressort est basé dans sa

thèse “The Strength of the Conical Shell” à ETH de Zurich. Toutefois, il a fallu plusieurs décennies pour que cela soit adopté dans la pratique. Puis, en 1936, deux Américains, Almenet László, ont publié une méthode de calcul simplifiée [Almen, JQ ; Laszlo, A 1936], une méthode rapide et pratique pour calculer les disques ressort.[5]

### III.5.2 Définition

La rondelle Belleville est une rondelle conique de faible épaisseur. Cette rondelle se comporte, dans le sens axial, comme un ressort de grande raideur et de faible encombrement. Elle permet donc de maintenir un effort de serrage axial constant. Les rondelles Belleville ont plusieurs avantages :

- une longue durée de vie.
- un encombrement minimal.
- le nombre de rondelles et le montage sont variables.

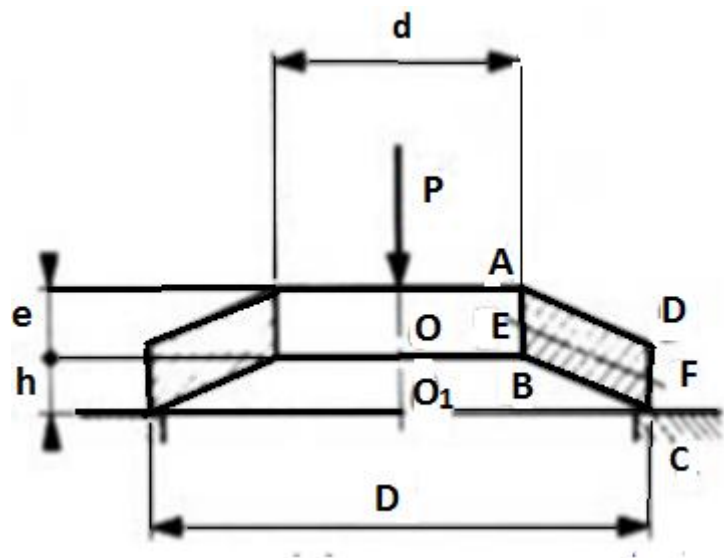


Figure III. 6 Ecrasement de la rondelle [5]

### III.5.3 Paramétrage des rondelles Belleville

La rondelle élémentaire a un diamètre intérieur  $d$ , un diamètre extérieur  $D$ , une épaisseur  $t$  et une hauteur à vide  $h$ .

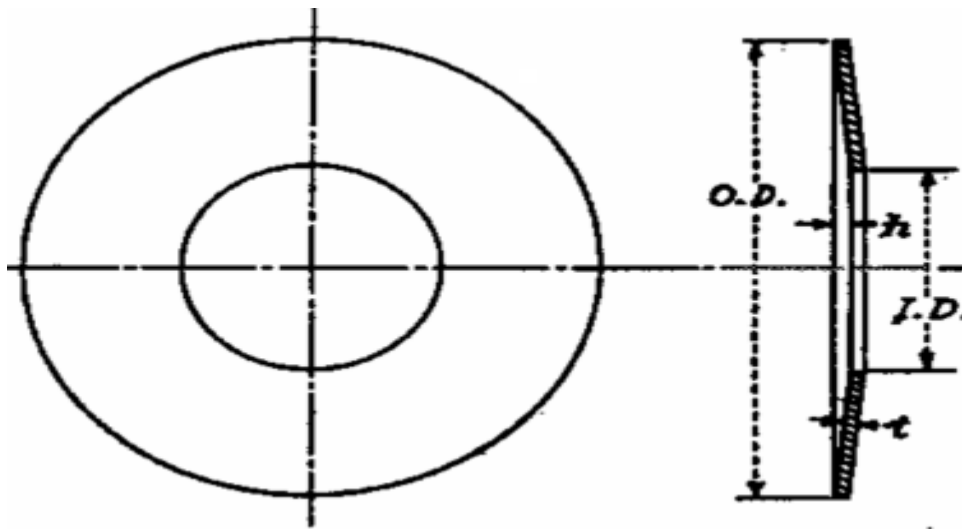


Figure III. 7rondelle Belleville.[5]

#### III.5.4 Condition de résistance

Les rondelles Belleville sont généralement calculées pour que l'on puisse les aplatir complètement sans les déformer de façon permanente. Il existe donc une charge  $P$  dite charge d'aplatissement. Au-delà de cette valeur, la rondelle ne se déforme pratiquement plus. Il est donc pratiquement impossible de surcharger les rondelles Belleville, ce que l'on peut considérer comme un avantage considérable. Les rondelles présentent, lorsqu'elles sont serrées, une circonférence intérieure travaillant en compression, l'extérieur étant en traction. La circonférence extérieure est donc très sensible à l'effet d'entaille: tout défaut (fissures, oxydation,...) pourra servir d'amorce à une rupture qui se propagera de la circonférence extérieur vers l'intérieur. Comme cette surface extérieure est également la plus exposée, on évite donc d'employer ce montage dans des milieux sévères ou dans des applications exigeant une grande fiabilité.[6]

### III.5.5 Condition de déformation

Les rondelles les plus courantes ont une déformation presque linéaire sous faible charge, de sorte que la raideur peut être exprimée par :  $k = \frac{P}{h}$  Dans ce cas, des associations de rondelles peuvent être réalisées en connaissant aisément les propriétés de l'ensemble. [6]

### III.5.6 Association de rondelles

Les rondelles peuvent être empilées dans le même sens (en parallèle). Un paquet de  $n$  rondelles identiques montées en parallèle induit une flèche totale égale à celle d'une seule rondelle ( $h$ ). Cependant, sa charge d'aplatissement est  $n \times P$  ; si  $k$  est la raideur, supposée constante, d'une rondelle unique, la raideur  $K$  de l'ensemble est donc exprimé par:  $K = n \times P / h = n \times k$ . Si les rondelles sont empilées en opposition (en série), la charge d'aplatissement est la même que pour une rondelle unique, tandis que les flèches s'ajoutent. Un empilement de  $n$  rondelles en opposition a donc pour raideur :  $K = P / (n \times h)$  [6]



Figure III. 8 Montage en série

Figure III. 9 Montage en parallèle

### III.6 Calcul des rondelles à ressort Belleville :

Dans ce qui suit nous allons calculer l'effort maxi global supporté par les différentes rondelles Belleville qui sont empilées en série sur 2 rangées en parallèle de 16 rondelles chacun.

La charge supportée par une rondelle, pour une compression jusqu'au plan c'est-à-dire

$$[F = h_0] \quad [7]$$

$$F_c = \frac{4E}{1 - \nu^2} * \frac{e^3 * h_0}{k_1 * D^2}$$

**F<sub>c</sub>** : La charge supportée

en N

**$\nu$** : Coefficient de Poisson. Pour les aciers  $\nu = 0,3$

**$h_0$**  : flèche de la rondelle simple en mm

**$e$**  : épaisseur de la rondelle en mm

**$D$** : diamètre extérieur de la rondelle en mm

**$E$**  : module d'élasticité longitudinale en MPa

Tel que  $K_1$  et  $K_2$  sont des constantes à déterminer

Notre système est composé de deux ressorts en parallèle de type rondelle Belleville d'un empilage en série, chaque ressort à 16 rondelles huit de série 1 réf. 35.5X 18.3X 2.0 et les huit autres de série 2 de réf. 35.5X 18.3X 1.25 comme il les représente le tableau suivant :

Le matériau des rondelles est un acier inoxydable très dur code –SAE 301 acier très dur (X10CrNi18-8No 1.4310/UNS 30100) ces propriétés mécaniques sont :

$R_{e0.2} = 250 \text{ Mpa}$ ;  $R_m = 620 \text{ Mpa}$  ;  $E = 200 \cdot 10^3 \text{ Mpa}$

Le tableau ci-dessous montre les différentes dimensions et charge selon DIN2093, des deux rondelles Belleville installé sur la came escamotable de la souffleuse SBO4 :

| Dimensions et charges |       | Série 1 : $h_0/e = 0.4$ | Série 2 : $h_0/e = 0.8$ |
|-----------------------|-------|-------------------------|-------------------------|
| De :                  | en mm | 35.5                    | 35.5                    |
| Di                    | en mm | 18.3                    | 18.3                    |
| e                     | en mm | 2                       | 1.25                    |
| $h_0$                 | en mm | 2,8                     | 2.25                    |
| $f_0$                 | en mm | 0.8                     | 1                       |
| $L_n$                 | en mm | 2.2                     | 1.5                     |
| $F_n$                 | en N  | 5256                    | 1716                    |
| E                     | en M  | $200 \cdot 10^3$        | $200 \cdot 10^3$        |

**Tableau III. 2**Dimensions et charge admissible [NF.E.25.104] [7]

Ou :

- De : diamètre extérieur de la rondelle,                      e : épaisseur de la rondelle.
- Di : diamètre intérieur de la rondelle,                      ho : la flèche à vide (hauteur de cône)
- lo : hauteur totale    Fn : charge supportée.
- Ln : longueur de cône sous charge,                              E : module de Young.

Pour les rondelles avec un support intérieur, les formules pour calculer  $K1$  et  $K4$  sont : Quand la rondelle est installée sur un support intérieur de rondelle, l'épaisseur de rondelle va diminuer. Le rapport des épaisseurs de diminution est entre 0,94 à 0,96 :

$e' / e = 0,94$  à  $0,96$  (voir le tableau ci-dessous)

|                        |           |            |           |
|------------------------|-----------|------------|-----------|
| Modèle de rondelle     | A         | B          | C         |
|                        | ho/e =0.4 | ho/e =0.75 | ho/e =1.3 |
| Rapport des épaisseurs |           |            |           |
| $e'/e$                 | 0.94      | 0.94       | 0.96      |

**Tableau III. 3** Rapport des épaisseurs de rondelle. [7]

$$C_1 = \frac{\left(\frac{e'}{e}\right)^2}{\left(\frac{l_0 - \frac{e'}{4} + \frac{3}{4}}{4e - \frac{e'}{4}}\right) * \left(\frac{5}{8} * \frac{l_0 - \frac{e'}{e} + \frac{3}{8}}{e - \frac{e'}{8}}\right)}$$

$$C_2 = \frac{C_1}{\left(\frac{e'}{e}\right)^3} * \left[ \frac{5}{32} * \left(\frac{l_0}{e} - 1\right)^2 + 1 \right]$$

$e'$  : épaisseur de rondelle avec support intérieur

$e$  : épaisseur de rondelle sans support intérieur

A.N :

D'après le tableau 3 :

$0.8/2 = 0.4$  pour série 1

$1/1.25 = 0.8$  pour série 2



Donc :

Les rondelles de série 1 sont de modèle A

Les rondelles de série 2 sont de modèle B

$$\acute{e}/e = 0.94$$

➤ Calcul des constantes ( $K_1, K_4$ ) et ( $C_1, C_2$ ) pour la rondelle de série 1 : [7]

$$C_1 = \frac{\left(\frac{\acute{e}}{e}\right)^2}{\left(\frac{l_0 - \acute{e}}{4e} + \frac{3}{4}\right) * \left(\frac{5}{8} * \frac{l_0 - \acute{e}}{e} + \frac{3}{8}\right)} \quad C_2 = \frac{C_1}{\left(\frac{\acute{e}}{e}\right)^3} * \left[\frac{5}{32} * \left(\frac{l_0}{e} - 1\right)^2 + 1\right]$$

Ou  $\acute{e}$  : épaisseur de rondelle avec support intérieur.

$e$  : épaisseur de rondelle sans support intérieur.

$l_0$  : la hauteur totale.

A ,N

$$c_1 = \frac{(0,94)^2}{\left(\frac{2,8}{4*2} - 0,94 + \frac{3}{4}\right) * \left(\frac{5}{8} * \frac{2,8}{2} - 0,94 + \frac{3}{8}\right)} \quad c_2 = \frac{17,81}{(0,94)^3} * \left[\frac{5}{32} * \left(\frac{2,25}{2} - 1\right)^2 + 1\right]$$

$$c_1 = 17,81$$

$$c_2 = 28,22$$

➤ Calcul de  $k_1$  et  $k_4$  : [7]

$$K_1 = \frac{1}{\pi} * \frac{\left(\frac{R_{d-1}}{R_d}\right)^2}{\frac{R_{d+1}}{R_{d-1}} - \frac{2}{\log R_d}} \quad k_4 = \sqrt{\frac{-c_1}{2} + \sqrt{\frac{c_1}{2} + c_2}}$$

➤ Calcul de  $R_d$  rapport de diamètre

$$R_d = \frac{D_e}{D_i}$$

$$R_d = \frac{35,5}{18,3} = 1,93$$

A.N:

$$k_1 = \frac{1}{\pi} * \frac{\left(\frac{1,93-1}{1,93}\right)^2}{\frac{1,93+1}{1,93-1} - \frac{2}{\log 1,93}} \quad k_1 = 0,0196$$

$$k_4 = \sqrt{\frac{17,81}{2}} + \sqrt{\frac{17,81}{2} + 3,1} \quad k_4 = 0,99$$

➤ Calcul des constantes (K1, K2) et (C1, C2) pour la rondelle de série 2 : [7]

$$c_1 = \frac{(0,94)^2}{\left(\frac{2,25}{4*2} - 0,94 + \frac{3}{4}\right) * \left(\frac{5}{8} * \frac{2,25}{1,25} - 0,94 + \frac{3}{8}\right)} \quad c_1 = 3,98$$

$$c_2 = \frac{3,98}{(0,94)^3} * \left[ \frac{5}{32} * \left(\frac{2,25}{1,25} - 1\right)^2 + 1 \right] \quad c_2 = 1,18$$

$$k_1 = \frac{1}{\pi} * \frac{\left(\frac{1,93-1}{1,93}\right)^2}{\frac{1,93+1}{1,93-1} - \frac{2}{\log 1,93}} \quad k_1 = 0,0196$$

$$k_4 = \sqrt{\frac{-3,98}{2}} + \sqrt{\frac{3,98}{2} + 15,05} \quad k_4 = 3,19$$

➤ Calcul de la charge pour les deux séries :

**Pour la rondelle de série 1 :**

La charge supportée  $F_{c_1}$  par une rondelle, à une compression jusqu'au plan c'est-à-dire

$f = h_0$  donc  $k_4 = 1$  [7]

$$F_{c_1} = \frac{4E}{1 - \nu^2} * \frac{e^3 * h_0}{k_1 * D^2}$$

**Fc** : La charge supportée en N

**ν** : Coefficient de Poisson. Pour les aciers  $\nu = 0,3$

**h<sub>0</sub>** : flèche de la rondelle simple en mm

**e** : épaisseur de la rondelle en mm

**De** : diamètre extérieur de la rondelle en mm

**f** : flèche en mm

**E** : module d'élasticité longitudinale en MPa

A.N:

$$F_{c_1} = \frac{4 * 2 * 10^5}{1 - 0,3^2} * \frac{2^3 * 2,80}{0,65 * 35,5^2}$$

$$F_{c_1} = 28668 \text{ N}$$

**Pour la rondelle série 2 La charge  $F_{c_2}$  supportée à une compression jusqu'au plan c'est-à-dire**

$$F_{c_2} = \frac{4 * 2 * 10^5}{1 - 0,3^2} * \frac{1,25^3 * 2,25}{0,65 * 35,5^2} * 1,1$$

$$F_{c_2} = 3541 \text{ N}$$

### III.7 Calcul des rondelles à ressort Belleville avec une autres référence

Dans ce qui suit nous allons calculer l'effort maxi global supporté par les différentes rondelles Belleville (40X20,4X2,25),(40X20,4X1,5) empilées en série sur 2 rangées en parallèle de 16 rondelles chacun

| Dimensions et charges |        | Série 1 : $f_0/e = 0.4$ | Série 2 : $f_0/e = 0.75$ |
|-----------------------|--------|-------------------------|--------------------------|
| De :                  | en mm  | 40                      | 40                       |
| Di                    | en mm  | 20,4                    | 20,4                     |
| e                     | en mm  | 2,25                    | 1,5                      |
| h <sub>0</sub>        | en mm  | 3,15                    | 2,65                     |
| $f_0$                 | en mm  | 0,9                     | 1,15                     |
| Ln                    | en mm  | 2.2                     | 2.2                      |
| Fn                    | en N   | 5256                    | 5256                     |
| E                     | en MPa | 200 *10 <sup>3</sup>    | 200 *10 <sup>3</sup>     |

**Tableau III. 3**Dimensions et charge admissible [NF.E.25.104] [7]

La charge supportée par une rondelle, pour une comprissions jusqu'au plan c'est-

à-dire  $[f = h_0]$  [7]

$$F_c = \frac{4E}{1 - \nu^2} * \frac{e^3 * h_0}{k_1 * D^2}$$

**F<sub>c</sub>** : La charge supportée en N

**ν** : Coefficient de Poisson. Pour les aciers  $\varepsilon = 0,3$

**h<sub>0</sub>** : flèche de la rondelle simple en mm

**e** : épaisseur de la rondelle en mm

**De** : diamètre extérieur de la rondelle en mm

**E** : module d'élasticité longitudinale en MPa

- Calcul des constantes ( $K_1, K_2$ ) et ( $C_1, C_2$ ) pour la rondelle de série 1 :

$$c_1 = \frac{(0,94)^2}{\left(\frac{3,15}{4 \cdot 2,25} - 0,94 + \frac{3}{4}\right) * \left(\frac{5}{8} * \frac{3,15}{2,25} - 0,94 + \frac{3}{8}\right)} \quad c_1 = 11,36$$

$$c_2 = \frac{11,36}{(0,94)^3} * \left[ \frac{5}{32} * \left(\frac{3,15}{2,25} - 1\right)^2 + 1 \right] \quad c_2 = 15,30$$

- Calcul de  $k_1$  et  $k_4$  :

$$K_1 = \frac{1}{\pi} * \frac{\left(\frac{R_{d-1}}{R_d}\right)^2}{\frac{R_{d+1}}{R_d-1} - \frac{2}{\log R_d}} \quad k_4 = \sqrt{\frac{-c_1}{2} + \sqrt{\frac{c_1}{2} + c_2}}$$

- Calcul de  $R_d$  rapport de diamètre

$$R_d = \frac{D_e}{D_i} \quad R_d = \frac{40}{20,4} = 1,96$$

- A.N:

$$k_1 = \frac{1}{\pi} * \frac{\left(\frac{1,96-1}{2}\right)^2}{\frac{1,96+1}{1,96-1} - \frac{1,96}{\log 1,96}} \quad k_1 = 0,68$$

$$k_4 = \sqrt{\frac{-2,35}{2} + \sqrt{\frac{2,35}{2} + 3,11}} \quad k_4 = 0,94$$

- Calcul des constantes ( $K_1, K_4$ ) et ( $C_1, C_2$ ) pour la rondelle de série 2

$$c_1 = \frac{(0,94)^2}{\left(\frac{2,65}{4 \cdot 1,5} - 0,94 + \frac{3}{4}\right) * \left(\frac{5}{8} * \frac{2,65}{1,5} - 0,94 + \frac{3}{8}\right)} \quad c_1 = 6,55$$

$$c_2 = \frac{6,55}{(0,94)^3} * \left[ \frac{5}{32} * \left(\frac{2,65}{1,5} - 1\right)^2 + 1 \right] \quad c_2 = 9,12$$

$$k_1 = \frac{1}{\pi} * \frac{\left(\frac{1,96-1}{2}\right)^2}{\frac{1,96+1}{1,96-1} - \frac{1,96}{\log 1,96}} \quad k_1 = 0,68$$

$$k_4 = \sqrt{\frac{6,55}{2} + \sqrt{\frac{6,55}{2} + 9,12}} \quad k_4 = 0,49$$

- Calcul de la charge pour les deux séries :
- Pour la rondelle de série 1

La charge supportée  $F_{c_1}$  par une rondelle, à une compression jusqu'au plan c'est-à-dire

$f = h_0$  [7]

$$F_{c_1} = \frac{4 * 2 * 10^5}{1 - 0,3^2} * \frac{2,25^3 * 3,15}{0,68 * 40^2}$$

$$F_{c_1} = 28991 \text{ N}$$

Pour la rondelle série 2 la charge supporté  $F_{c_2}$  à une compression jusqu'au plan c'est-à-dire

$$F_{c_2} = \frac{4 * 2 * 10^5}{1 - 0,3^2} * \frac{1,5^3 * 2,65}{0,68 * 40^2} * 0,49$$

$$F_{c_2} = 3541 \text{ N}$$

- Déterminé le nombre de rondelle lorsque la charge N est 5000 N et la flèche total  $f = 10\text{mm}$

Nous calculons les rapports :  $\frac{f_0}{e} = \frac{0,9}{2,25} = 0,4$

$$\frac{F}{F_C} = \frac{5000}{28991} = 0,17$$

$$\text{Donc : } \frac{f_1}{f_0} = 0,17 \qquad f_1 = 0,17 * 0,9 = 0,51 \text{ mm}$$

- Pour avoir une déformation de 10mm

$$n = \frac{f}{f_1} \qquad \text{donc : } n = \frac{10}{0,51} = 19,6$$

- donc nous avons besoin de 20 rondelles.

### III Conclusion :

Dans ce dernier chapitre, nous avons diagnostiqué les causes de défaillance du système de commande ouverture / fermeture du moule et nous avons conclu que le problème réside dans le fait que les rondelles Belleville utilisées ne résistent pas lorsque il soumit a la compression c'est pour cela on change les rondelles Belleville avec une autres référence (40 X 20,4 X 2,25) et (40 X 20,4X 1,5) qui supporte plus de charge



***CONCLUSION***

***Général***



Le travail présenté dans ce mémoire nous a permis en premier lieu de comprendre le principe de fonctionnement de la souffleuse de bouteille SBO04 chez l'entreprise Cevital. D'autre part, il nous a permis aussi d'étudier l'endommagement prématuré de la rondelle Belleville.

Dans notre travail, nous avons proposé des hypothèses qui peuvent être liées à l'endommagement des rondelles, à travers un diagnostic mécanique appliqué à la machine souffleuse SBO 04.

Parmi ces hypothèses, un dysfonctionnement de régulateur de pression provoque une surpression agie sur la résistance des rondelles, qui nous a ramené à établir un calcul théorique à propos de la résistance des rondelles. Après l'obtention de ces résultats, nous avons conclu que le type rondelles sont pas bien choisi c'est pour cela on a proposé autres rondelles avec une référence (40X20,4X 2,25) / (40X20,4X1,5) pour le constructeur. D'autre part, l'interprétation que nous avons donnée sur le phénomène d'endommagement des rondelles, est reliée à des forces de pression agissent sur les rondelles se transforme en chocs à cadence élevée.

Enfin, le travail accompli nous a permis de valider au moins en partie nos hypothèses, d'autre part nous laissons le champ ouvert à tous qui voudront améliorer et de rendre notre thème plus complet.

### Références Bibliographique

[1] Document constructeur NOTICE TECHNIQUE

[2] Vassilios S. GOLFINOPOULOS «Étude et réalisation d'un système de rétro-conception basé sur la connaissance pour la modélisation déclarative de scènes ». Thèse doctorat. ÉCOLE DOCTORALE Science - Technologie – Santé FACULTÉ des Sciences et Techniques (2006).

[3] Salam ALI « la rétro conception de composants mécaniques par une approche (concevoir pour fabriquer) ». Thèse de doctorat , université de Technologie de Troyes, (2015) ;

[4] BELHAOUA Abdelkrim « Planification et automatisation d'une reconstruction 3D – Prise en compte des incertitudes et optimisation de l'illumination ». Thèse de doctorat. Ecole Doctorale Mathématiques,(2011).

[5] ALMEN J.Q A 1936

[6] Julien françois belleville

[7] YoudeXiong-formulair de mécanique-pièce de construction

### ***RÉSUMÉ***

Ce mémoire traite le problème d'endommagement prématuré de rondelle élément qui absorbe les chocs au niveau de la came quand il est soumis aux effets de compression dans la machine souffleuse SBO 4 de l'entreprise Civetal.

Pour ce faire nous avons appliqué un diagnostic mécanique pour identifier les causes qui provoquent l'endommagement.

Une étude de fonctionnement de cette machine, a permis de dégager une relation entre un dysfonctionnement d'un élément sensible de la machine et l'endommagement.

### ***Abstract***

This thesis deals with the problem of premature damage to the shock absorbing element washer at the level of the cam when subjected to the effects of compression in the Civetal company SBO 4 snow blower machine.

To do this, we applied a mechanical diagnosis to identify the causes that cause the damage.

A study of the operation of this machine has made it possible to identify a relationship between a malfunction of a sensitive element of the machine and the damage.