

People's Democratic Republic of Algeria  
Ministry of Higher Education and Scientific Research  
Mohamed Boudiaf University of M'sila  
Faculty of Technology



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة المسيلة  
كلية التكنولوجيا

Département de Génie Mécanique

---

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

### MASTER

En Génie Mécanique

Option : Construction mécanique

Présenté par :

Beddiar abde rraouf & Seddiki Charaf eddine

### Thème

---

## Conception et simulation d'une machine vibratoire avec solidWorks

---

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
SAIB CHEIF	MCA	Président
ROUABHI YUCEF	MCB	Encadreur
BELKHIRI KHALLEF	MCB	Examinateur

Année Universitaire : 2021 / 2022  
N° d'ordre : GM/...../2022

Resumé :

D'intenses efforts de recherche ont été entrepris dans les dernières décennies pour essayer de comprendre quels sont les changements qui sont nécessaires pour les entreprises Algériennes afin de retrouver leur avantage concurrentiel. Une intelligente utilisation de nouvelles technologies, de nouveaux matériaux et la mise en œuvre des systèmes de travail à haute performance ne sont que deux des nombreuses recommandations qui ont découlé de ce travail, dans un effort pour réduire les coûts de production de nos entreprises ainsi de réduire leurs rejets industriels afin d'améliorer leurs impacts environnementaux, nous présentons dans ce petit travail une solution en conception d'une machine vibratoire en utilisant le progiciel SolidWorks 2017. Dans le cadre de la technologie de masse finition cette conception renforce les travaux de recherches scientifiques universitaires tant sur le plan technique et technologique que sur le plan pédagogique. Les résultats d'études peuvent être appliqués pour améliorer le mode de finition des pièces et assurer une longue durée de vie par rapport aux autres méthodes traditionnelles.

ملخص :

« Cũ IHbõy'IA« fΣI/IK€HÇ ÊYÇ/O%K/L HË' QXÏ ÕK H IE  
ΔPÏ/f« ÇËHI õ/fjñ Ïÿ/fjw P Ê ÇI/OÏΣΔÇI/fË ; B O HÏ/f  
= I/ΔPÏw/IA« Ç NÏ/BQÁ% LÏEfa ÇY/HÇVË w/HÏ. ΔOÏH ΔPÏ/fOÏ/f  
'EÏh, 'H. ÇCũ IA. ÇOÏ ΣÏh. 'EÏHÇ L^ 'H wÏI Bw« ÇΔ  
ák LÏy'IE wÏI Lfj/a ÊÇI/ÇOø L = 'H ; B O L ÊVÇ/HÇÇu h  
HÏÏ fHÏÏu hL

SolidWorks 2017

« ÇOÏfa ÇKHÏK ÇEÏ wÏÏu ÏÏI fV^ 'EÇ/HÇZË ÏHÏhÇ Ç L  
LÏ KÏH Çfç IA I ÇA^ZËB' ÇHÏ IA ÊMÏÏ ÏA ÊÏÏ/LÏ ÇO/B  
, ãNÏ/HÏÏÏ/ÇOÏHÏÇQ MÏ;ã VÏÇÏÏ. aÏ XfaÏ HÏá

**Abstract :**

Intense research efforts have been undertaken in the last decades to try to understand what changes are necessary for Algerian companies in order to regain their competitive advantage. An intelligent use of new technologies, new materials and the implementation of high-performance work systems are just two of the many recommendations that have arisen from this work, in an effort to reduce the production costs of our companies as well as reduce their industrial discharges in order to improve their environmental impacts, in this small work we present a solution in the design of a vibratory machine using the SolidWorks 2017 software package. In the context of mass finishing technology, this design reinforces research work university scientists both technically and technologically and pedagogically. The results of studies can be applied to improve the way parts are finished and ensure a long life compared to other traditional methods.

## **REMERCIEMENTS**

Je tiens tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce travail.

Je tiens à remercier mon encadreur Mr Yousef Rouabhi, pour son soutien, ses conseils précieux et sa disponibilité, qui m'ont permis d'apprendre énormément et de m'enrichir tout au long de ce travail.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à tous les enseignants qui nous ont enseignés et qui par leurs compétences nous ont soutenus dans la poursuite de nos études. Enfin, je tiens à remercier ma famille et mes amis qui m'ont toujours encouragé dans la poursuite de mes études.

<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Introduction générale	01-03
<b>Chapitre I : Généralités sur la conception et la conception assistée par ordinateur (C.A.O)</b>	
Introduction	04
Outil CAO utilisé	05
Motivations du choix du logiciel SolidWorks	06
Modélisation géométrique en CAO	09
Historique de la CAO	14
Industries impliquées dans les domaines de la CAO	15
Matériel du CAO	15
Logiciels CAO en mécanique	16
Conclusion	16
<b>Chapitre II : Traitement de masse finition vibratoire</b>	
Nature et paramètres principaux du traitement de masse finition vibratoire (TMFV)	18
Bref historique de la terminologie du traitement	19
Bref historique de machine vibratoire	20
Fonctions du Traitement de Masse Finition	20
Ébavurage	20
Raffinement de surface	21
Inhibition	21
Séchage	21
principaux paramètres du TMFV	21
Optimisation des pièces à traiter	21
Dureté	22
Ductilité	22
Rapports de MMFV à la pièce	22
Équipement de masse finition vibratoire (EMFV)	22
Variables qui influent sur les caractéristiques des EMFV	23
Dimensionnement de la pièce	23
Capacité	23
Poids	24
Volume	24

Moteurs (vibrateur)	25
Équipement de Masse Finition Vibratoire en forme Tub (EMFVT)	25
Conclusion	27
<b>Chapitre II : Traitement de masse finition vibratoire</b>	
Introduction	29
Choix de l'outil informatique de CAO	29
Choisissez un logiciel de CAO avec des modules intégrés	29
Choisissez un revendeur innovant pour votre logiciel de CAO	30
Choisissez un logiciel de CAO qui s'aligne avec votre écosystème	30
Les avantages de SolidWorks CAO 3D	30
Présentation de SolidWorks	31
Historique	32
Fonctionnement	32
modéliser dans SolidWorks	37
Le fonctionnement de la CAO	37
Les projets	37
<b>Chapitre IV: Modélisation des pièces de la machine vibratoire</b>	
Introduction	40
Modélisation géométrique	40
Définition	40
Avantages	41
Inconvénients	41
Machine vibratoire circulaire	41
Caractéristiques de la machine vibratoire	42
Modélisation des pièces de la machine vibratoire	43
Modélisation de Chambre de travail	43
Modélisation de Chambre de couverture	45
Modélisation de élément flexible n01	47
Modélisation de l'élément flexible n02	48
Modélisation de l'élément flexible n03	49
Modélisation de vibrateur	51
Modélisation de masse excentrique	53
Modélisation de cage 1 vibrateur	54

Modélisation de cage 2 vibreur	56
Modélisation de stateur de vibreur	57
Modélisation de l'arber de vibreur	58
Modélisation de moteur	59
Modélisation de cage moteur	60
Modélisation de la pièce rotative	61
Modélisation de rotor de moteur	62
Modélisation de fixation n03	63
Modélisation de réservoir	65
Modélisation de table	66
Modélisation de Vis de fixation cage de l'élément flexible	67
Modélisation de Vis de fixation la masse excentrique	69
Modélisation de Vis de fixation cage vibreur	70
Modélisation de Crous de fixation cage de l'élément flexible	71
Modélisation de Crous de fixation la masse excentrique	72
Modélisation de Crous de fixation cage vibreur	73
<b>Chapitre V: L'assemblage des pièces delamachine vibratoire</b>	
Introduction	74
Assemblage	74
Assemblage avec les contraintes	74
Les étapes d'assemblage	75
Premier assemblage	75
Sous assemblage 1	75
Sous assemblage 2	77
Sous assemblage 3	79
Sous assemblage 4	81
Conclusion	83
Conclusion générale	84
Références bibliographiques	85

# **Introduction général**

### Introduction générale

Nous pouvons décrire la conception ou le design comme un processus itératif au cours duquel un objet est conçu et modifié afin qu'il puisse remplir des fonctions bien définies et se conformer à un ensemble de contraintes [1].

Se trouvant plusieurs étapes dans cette démarche :

- a) Création d'un modèle de l'objet,
- b) Analyses, essais et simulation,
- c) Construction de prototypes,
- d) Modifications,
- e) Réalisation de l'objet.

À quelques variantes près dans l'enchaînement de ces étapes, la méthodologie est la même que l'objet, soit un barrage, un circuit électrique, une pièce mécanique, ...etc.

L'ensemble des activités de conception sont les moyens ou média utilisés par le concepteur. Ayant des caractéristiques communes, ces derniers se divisent généralement comme suit [2, 3]:

#### ➤ **Outils analytiques**

Formules empiriques et équations issues de modèles mathématiques. Ceux-ci sont utilisés aussi bien lors de la création d'un modèle, lors de son analyse, ou des modifications.

#### ➤ **Information**

Propriétés et caractéristiques de toutes sortes, designs antérieurs, etc. Ces informations auxquelles l'ingénieur fait appel sont contenues dans des manuels, dans sa propre mémoire, dans des plans, etc. Leurs formes sont variées : chiffrées, graphiques, textuelles. On a recours aux informations également à toutes les phases du processus de conception.

### ➤ **Communication**

L'ingénieur doit communiquer ou consacrer les résultats de son travail à l'une ou l'autre des phases. Par exemple, il lui faut communiquer la forme du modèle pour la réalisation d'un prototype, ou bien les résultats d'un calcul de contraintes pour réaliser certaines modifications. Les modes de communicationsont graphiques, chiffrés ou bien textuels

Alors la CAO comprend l'ensemble des programmes et des techniques de modélisation qui permettent la conception de modèles et de produits. La CAO permet aussi de simuler et donc de tester virtuellement les produits avant de les fabriquer.

Il est ensuite aisé de transmettre les informations à la Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO). On trouve parfois le programme DAO (Dessin Assisté par Ordinateur), mais ces outils ne permettent que la création de plans [4].

Il est évident que la CAO n'est qu'un outil mais un outil qui modifie [l'exercice de la profession de l'ingénieur et permet de faire un meilleur travail par exemple, dans le domaine des structures les programmes d'analyses sont devenus très précis et complets de manière que le comportement d'éléments telles les poutres et peut être analysé avec beaucoup plus de fiabilité et de détails qu'avec les formules empiriques utilisées auparavant [5].

Il est alors envisageable d'optimiser un design par l'utilisation itérative de ces outils et de déceler des comportements qui ne seraient apparus que lors de la réalisation du prototype (ou pire, lors du produit fini).

Cette approche est vigueur depuis plusieurs années dans les domaines de haute technologie (aviation, nucléaire et électronique où les méthodes traditionnelles sont évoluées une forte progression de ces méthodes avancées de conception rapide et moyen ferme, elles seront utilisées dans la plupart des entreprises.

# **Chapitre I**

## **Généralités sur la conception et la conception assistée par ordinateur (C.A.O)**

## **I.1 Introduction**

Nous pouvons définir la Conception Assistée par Ordinateur (CAO) par l'ensemble des outils logiciels et des techniques informatiques qui permettent d'assister les concepteurs dans la conception et la mise au point d'un produit. Un logiciel de CAO se compose généralement de quatre parties majeures qui peuvent être organisées comme suit [6]:

- **Le modeleur géométrique** : il représente "la planche à dessin". Nous trouvons dans cette partie les composants géométriques essentiels : points, droites, cercles, ellipses, plans, sphères, cylindres, cônes, courbes de Bézier ou B-Splines, surfaces NURBS, surfaces de révolution, surfaces de balayage, etc. Il intègre également les composants topologiques : sommets, faces, arêtes, orientations, coïncidences, adjacences, intersections, soustractions, unions, etc.
- **L'outil de visualisation.**
- **Un certain nombre d'applications:** nous retrouvons le calcul des grandeurs géométriques (distances, inerties, volumes, masses, etc.), les fonctions métiers: assemblage de pièces, production de plans, simulation d'usinage, moulage, fraisage, etc.
- **Un contrôleur:** il gère et manipule les intersections entre les trois outils cités précédemment.

La technologie CAO a pris naissance au sein des grands programmes militaires américains dans les années 1950. Ensuite, elle a pénétré le domaine de l'aéronautique civile, l'automobile, l'industrie informatique, l'architecture, le génie civil. Nous pouvons distinguer plusieurs générations de systèmes de CAO (figure I.1) qui peuvent être classifiées, d'un point de vue historique, selon [7], de la manière suivante:

- Le **Dessin Assisté par Ordinateur (DAO)**: les objets sont représentés par la projection de leurs arêtes sur un plan bidimensionnel 2D.
- La représentation dite fil de fer (Wireframe): les objets sont représentés par ses arêtes mais dans l'espace tridimensionnel 3D.
- La représentation des objets par leurs frontières surfaciques B-REP (*Boundary Representaion*).

- La représentation par l'espace tridimensionnel occupé par l'objet, cette génération est appelée la technique de «Constructive Solid Geometry» (CSG) ou l'arborescence de construction.

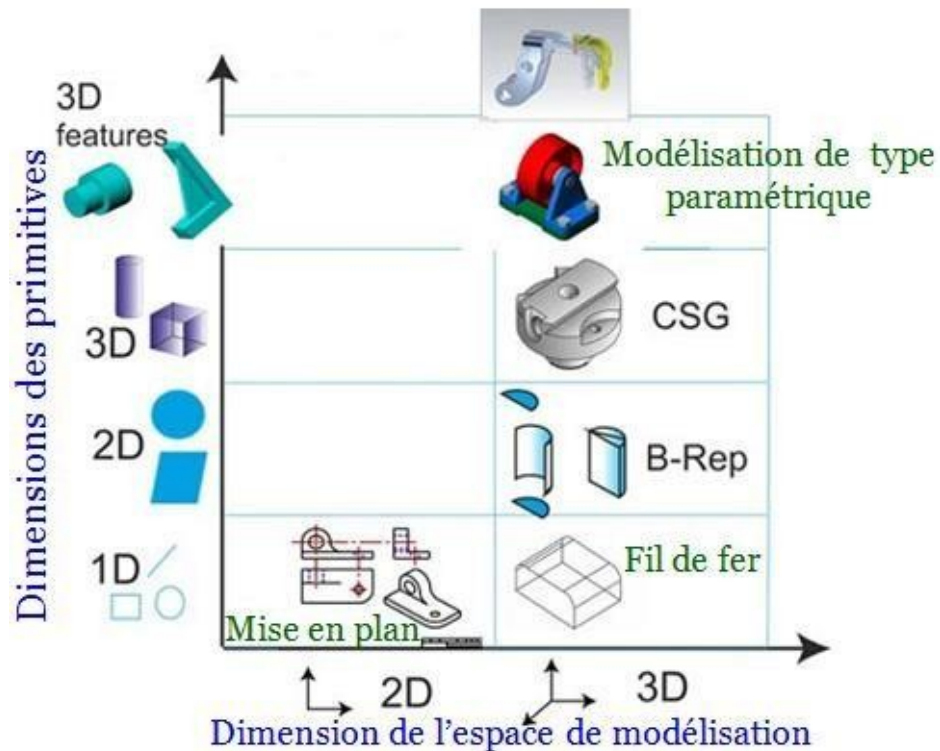


Fig.I.1 Le diagramme représentant les cinq générations de systèmes de CAO [8].

## I.2 Outil CAO utilisé

Dans ce travail, nous avons choisi le logiciel SolidWorks pour développer les méthodes et techniques proposées. SolidWorks est l'acronyme de Conception Assistée Tridimensionnelle InterActive. Le logiciel est conçu par Dassault Systèmes en France et est un logiciel de CAO 3D volumique et surfacique qui bénéficie maintenant d'une très large utilisation.

Ce logiciel représente un puissant et robuste outil de CFAO (Conception etFabrication Assistées par Ordinateur).

Il est bien entendu plus qu'un simple logiciel permettant la définition géométrique d'un ensemble mécanique. C'est une véritable plate-forme pluridisciplinaire permettant de modéliser et d'optimiser le couple produit/processus [8]. En raison de sa capacité à gérer, manipuler des modèles, des solides, et des surfaces complexes, ce logiciel couvre un très grand nombre de domaines qui nécessitent beaucoup de précision. Nous pouvons mentionner par exemple les secteurs suivants :

- Aéronautique.
- Construction et architecture.
- Ferroviaire.
- Électronique.
- Robotique.
- Energie.
- Construction navale.
- Automobile.
- Horlogerie.
- Fabrication.

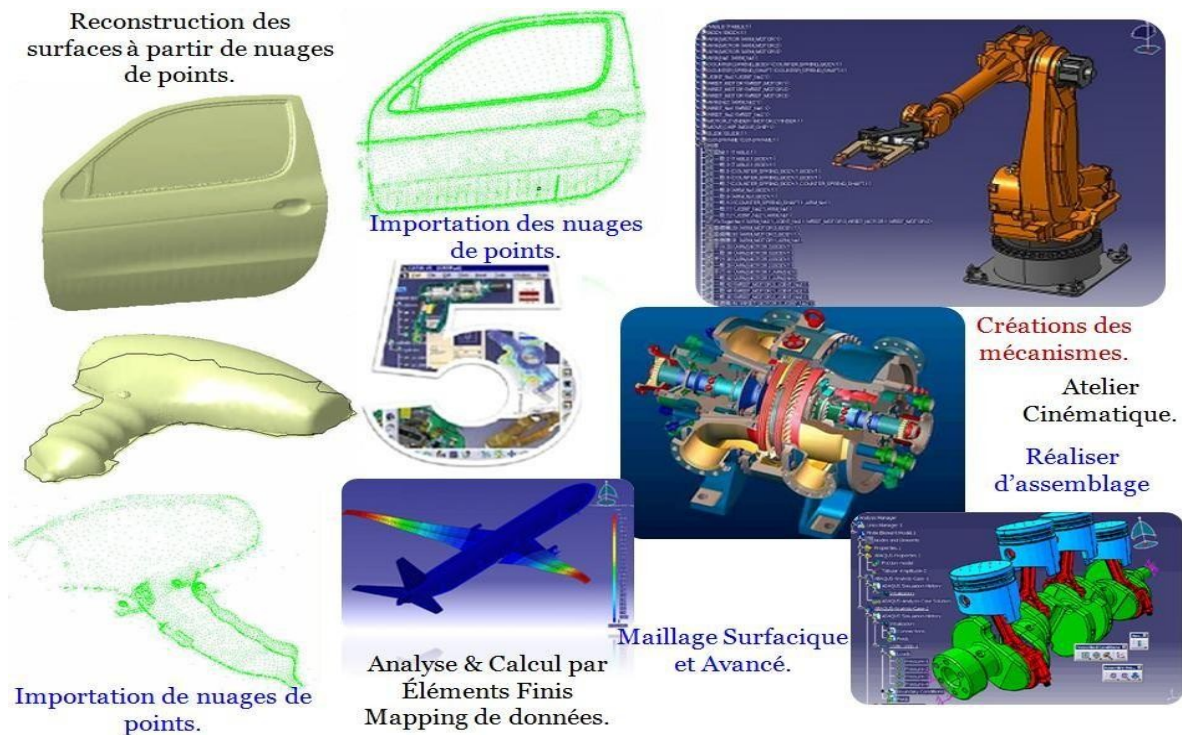


Fig.I.2 Quelques possibilités disponibles aux concepteurs via l’outil de CAO-SolidWorks

### I.3 Motivations du choix du logiciel SolidWorks

Les travaux de recherche présentés dans ce mémoire de thèse s’inscrivent fondamentalement dans le contexte de caractérisation, moyennant les techniques et les fonctionnalités de la CAO, des différents critères de performance des robots manipulateurs ayant des structures parallèles avec en particulier: les **Robots Manipulateurs Parallèles Planaires (RMPP)**.

Nous étudions l’espace de travail, les régions libres de singularité, la parcourabilité dans l’espace de travail pouvant se définir par la possibilité de planifier des trajectoires qui ne franchissent pas de configurations singulières, etc. L’accent est mis sur l’espace de travail.

En effet, nous cherchons à proposer de nouvelles méthodologies purement géométriques basées sur l'utilisation et la mise en application des approches qui seront implémentées directement dans un environnement CAO [9]. Les approches et les techniques qui seront proposées ont pour objectif d'analyser, d'un point de vue cinématique, les différentes caractéristiques opérationnelles de robots manipulateurs parallèles.

Ces analyses nous aident considérablement à approfondir nos connaissances sur les différentes possibilités permettant de mieux exploiter l'espace de travail des robots manipulateurs parallèles plans.

Notre travail vise également à proposer de nouvelles représentations de l'espace de travail atteignable par un robot manipulateur spatial à structure parallèle possédant six degrés de mobilité. En conséquence, il est indispensable de disposer d'un outil puissant qui nous offre des modules pour la création et la manipulation d'objets solides, possédant une bibliothèque riche nous permettant d'appliquer les différentes opérations souhaitées, telles que les opérations booléennes (intersection, union, soustraction, etc.).

En outre, nous avons besoin pour remplir ces objectifs, notamment pour les problèmes liés à l'analyse des poses singulières pour les **RMPPs**, de modules qui nous donnent les possibilités suivantes:

- Importer des nuages de points, quels que soient la taille des fichiers contenant ces points,
- Générer des maillages polygonaux triangulaires,
- Nettoyer et optimiser le maillage de façon à obtenir la meilleure qualité de la surface reconstruite à partir de ce maillage,
- Construire et gérer des surfaces.

Pour toutes ces raisons, nous avons choisi le logiciel SolidWorks car:

- Le logiciel de CAO- SolidWorks permet aux utilisateurs une approche méthodologique rigoureuse.
- Le choix de SolidWorks a été évident puisqu'il constitue la réponse à une problématique simple : quel est le moyen de réaliser tout ce que nous souhaitons sans

avoir besoin de changer d'outil à chacune des étapes des approches que nous souhaitons établir et implémenter.

- Le logiciel de CAO- SolidWorks offre des fonctions interactives très performantes permettant aux utilisateurs de concevoir (des solides et des surfaces), d'analyser, et de simuler pour réaliser chacun de nos buts mentionnés auparavant. Ces fonctionnalités permettent de guider efficacement l'utilisateur pour achever les résultats souhaités.
- Le logiciel de CAO- SolidWorks a été choisi parce qu'il représente le système de CAO le plus moderne disponible par rapport aux concepts de programmation et de structure de données [10].
- Le logiciel de CAO- SolidWorks nous permet de manière efficace de mesurer directement les quantités caractéristiques liées à l'espace de travail telles que le volume de l'espace de travail, l'aire de n'importe quelle surface, quelque soit sa complexité topologique, sans nul besoin d'effectuer des programmations afin de réaliser les mesures désirées.
- Quant à la qualité des surfaces reconstruites dans l'environnement de CAO- SolidWorks, ce logiciel dispose d'un grand nombre d'outils d'analyse, qui peuvent être employés afin de déterminer l'exactitude des surfaces reconstruites à partir des nuages de points importés avant qu'ils soient utilisés pour exécuter des opérations de coupe des solides via ces surfaces.
- Aussi, l'ensemble des opérations réalisées sur la géométrie (maillages,...) tel que le calcul de la précision peut être analysé dans un environnement unique [11].
- Comme pour tous les logiciels de CAO modernes, un gros avantage offert par l'outil SolidWorks est un historique de construction très puissant. À chaque fois que nous utilisons une fonction, cette dernière sera directement placée dans une structure hiérarchisée, appelée l'arborescence de la construction ou de la conception. Cette organisation donne la possibilité d'éditer, à tout moment, la fonction désirée.

### **I.4 Modélisation géométrique en CAO**

Nous abordons dans ce paragraphe, de manière succincte, quelques notions fondamentales de la CAO. Nous nous focalisons sur les concepts mis en œuvre dans les approches géométriques proposées.

#### **La modélisation surfacique**

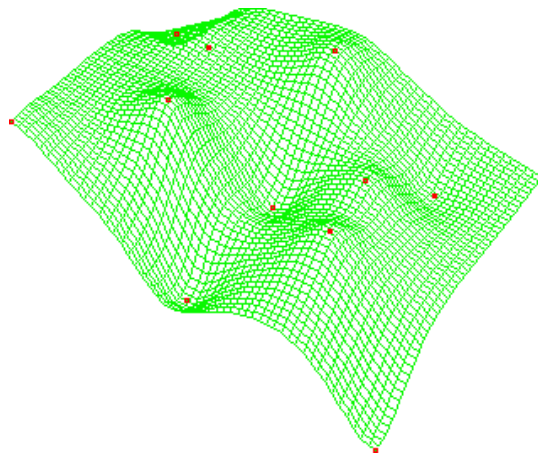
Elle est la première technique qui permet aux concepteurs de réaliser des modélisations tridimensionnelles de manière beaucoup plus approfondie que la modélisation à l'aide de fil de

fer. Avec cette technique, l'utilisateur a la possibilité de modéliser une pièce (un objet) par son enveloppe surfacique totale qui délimite cet objet dans l'espace [11].

Il faut signaler que la modélisation surfacique est essentiellement basée sur des équations polynômiales paramétriques. Dans cette modélisation nous distinguons deux types de surfaces qui sont utilisées: les surfaces simples et les surfaces complexes.

Dans les surfaces simples nous trouvons les plans, les surfaces d'extrusion et les surfaces de révolution (le cylindre, le cône, la sphère, le tore). Quant aux surfaces complexes, nous pouvons distinguer trois grandes familles: les Béziérs ou surfaces à pôles (figure I.3), les B-Splines et les **NURBS** (Non Uniform Rational **B**asis **S**pline).

Pour plus de détails sur ces types de surfaces complexes, un lecteur peut se référer à [11]. Les surfaces **NURBS** sont utilisées actuellement pour modéliser les objets dans SolidWorks.



**Fig.I.3** Surface à pôles (Bézier).

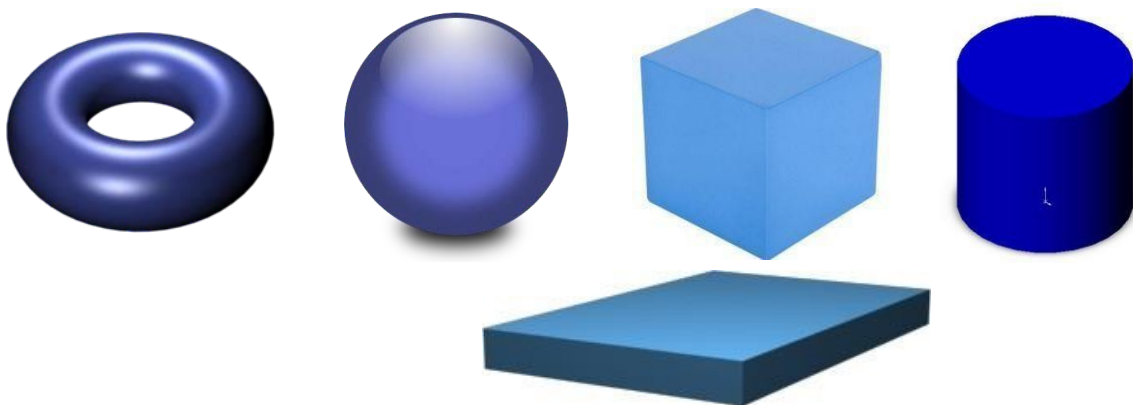
### **La modélisation solide (la modélisation volumique)**

Elle constitue la technique de représentation d'un objet la plus utilisée dans les

modeleurs géométriques. La technique de la représentation par frontière, ou « *Boundary Representation* » (**B-REP**) est la technique de modélisation volumique la plus répandue. C'est une représentation qui s'apparente à la modélisation surfacique mentionnée précédemment. Elle consiste à définir le solide moyennant les surfaces frontières du solide. En d'autres termes, le solide est représenté comme une collection d'éléments surfaciques connectés entre eux.

Les modèles créés par cette technique sont composés de deux parties essentielles [12]: la topologie et la géométrie (surfaces, courbes, points). Les principaux éléments topologiques sont les suivantes: faces, arêtes et sommets. Une face est une partie bornée (délimitée) d'une surface, une arête est un morceau borné d'une courbe, et un sommet est associé à un point.

Pour modéliser un solide, nous avons également la technique de modélisation **CSG** (*Constructive Solid Geometry*). La construction du modèle au moyen de la technique de l'« *Arbre de construction* » ou **CSG** consiste à utiliser un ensemble d'opérations booléennes (union, intersection, soustraction (différence)) qui sera appliqué sur des primitives mathématiques telles que: la sphère, le cylindre, le cube, le tore, le cône, le parallélépipède (figure I.4).



**Fig.I.4** Les primitives employées pour la création d'un solide via la technique **CSG**.

Cette technique de modélisation a évolué par la suite avec les logiciels de CAO vers l'arbre des caractéristiques qui contient l'historique de construction du produit. L'application des opérations booléennes sur les primitives permet aux concepteurs de créer des solides ayant des topologies plus complexes.

**B-REP** et **CSG** sont les systèmes de représentation les plus largement utilisés dans les logiciels de CAO. Pour les différentes applications, une de ces deux techniques de modélisation peut être plus appropriée que l'autre.

Par exemple, **B-REP** est plus approprié pour représenter des conceptions complexes, alors qu'avec la technique de modélisation **CSG**, les modèles sont faciles à créer. Dans certains modélisateurs géométriques, tel que le logiciel SolidWorks, le système utilise en même temps **B-REP** et **CSG**.

### **Modèles NURBS**

Les modèles **NURBS** qui ont une grande capacité de description des courbes et des surfaces, sont de nos jours la forme standard dominante pour la Conception Assistée Géométrique par Ordinateur (**CAGO**).

Ces modèles représentent le résultat d'une amélioration continue et successive des modèles mathématiques des courbes et des surfaces. Les surfaces **NURBS** sont utilisées dans de nombreuses applications d'ingénierie pour représenter des corps et des pièces complexes du point de vue de leurs topologies en raison de leur stabilité, leur flexibilité et de leurs propriétés de modification locale.

La motivation principale de leur développement est le besoin de représenter et de modéliser avec précision des objets géométriques ayant des topologies complexes de forme libre tout en permettant aux concepteurs de réaliser les modifications de forme des courbes et des surfaces de manière intuitive en changeant un petit nombre de points [12], comme la carrosserie des voitures ou les parties du corps humain, etc.

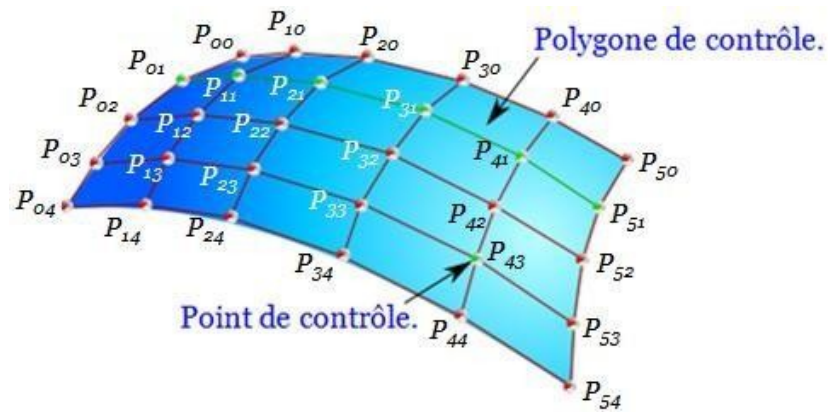


Fig.I.5 Surface NURBS et ses composants: points de contrôle et polygones de contrôle.

### La technique du balayage

Le balayage peut être défini par les procédés géométriques de modélisation qui permettent aux concepteurs de construire des objets tridimensionnels comme l'ensemble de points intérieurs à un contour (générateur ou profil) qui se déplace le long d'une trajectoire spatiale (courbe de guide). Cette dernière peut être définie par une fonction mathématique ou par une polyligne 3D spatiale.

Nous pouvons distinguer plusieurs genres pour le balayage. Citons par exemple [13]:

- Le balayage par translation, appelé aussi l'extrusion linéaire est illustrée dans la figure I.6 (b) et la figure I.7 (b). Pour ce type de balayage, le contour (générateur) suit une trajectoire linéaire.
- Le balayage par rotation: à partir d'un contour ouvert ou fermé, nous effectuons une opération de rotation moyennant un profil générateur autour d'un axe. Ce balayage peut être utilisé pour produire des objets avec symétrie de rotation. Cette technique de balayage est illustrée dans la figure 1.6 (a) et la figure 1.7 (a).

Le balayage peut être rigide ou perpendiculaire.

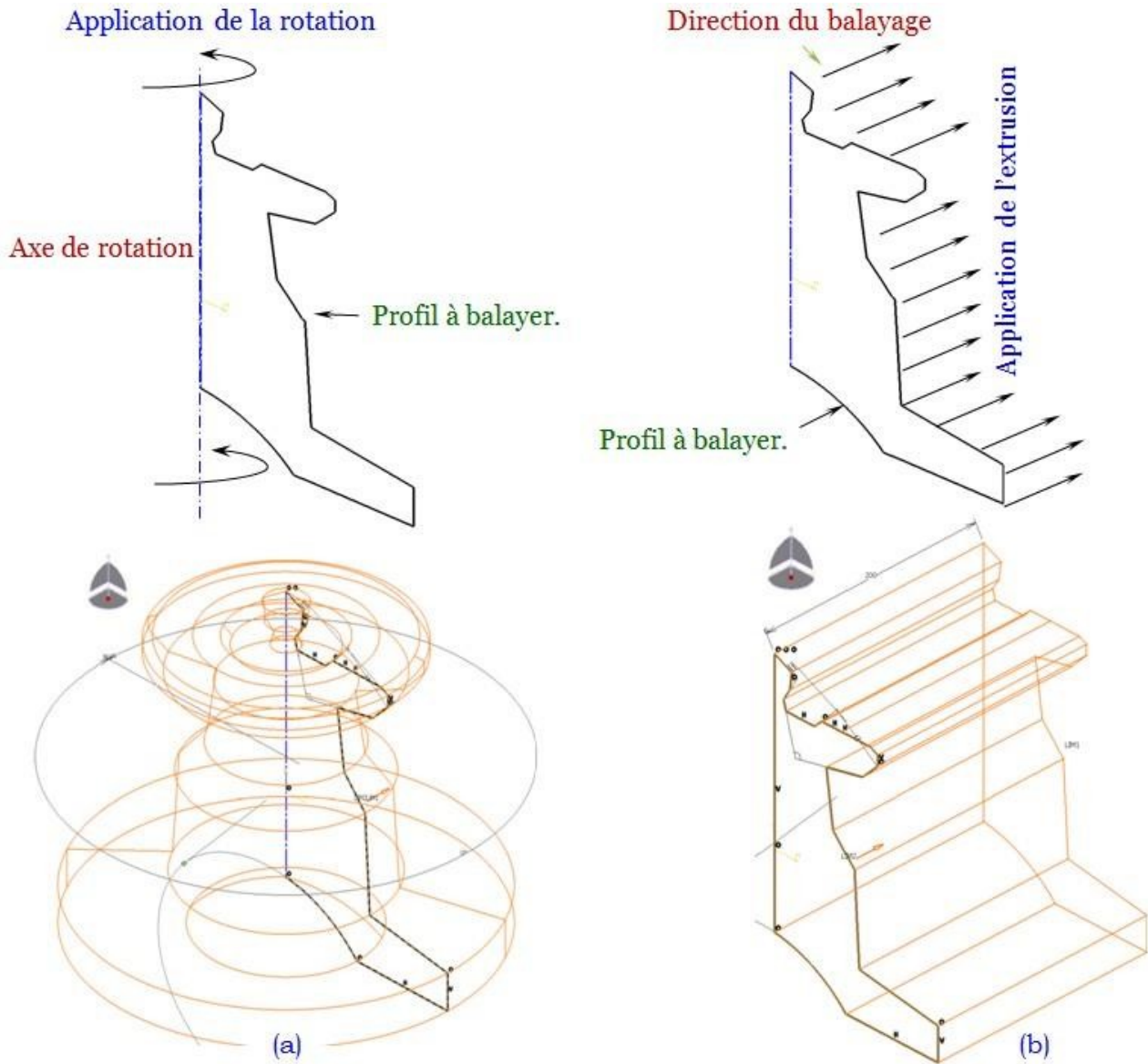


Fig.I.6 Technique de balayage.

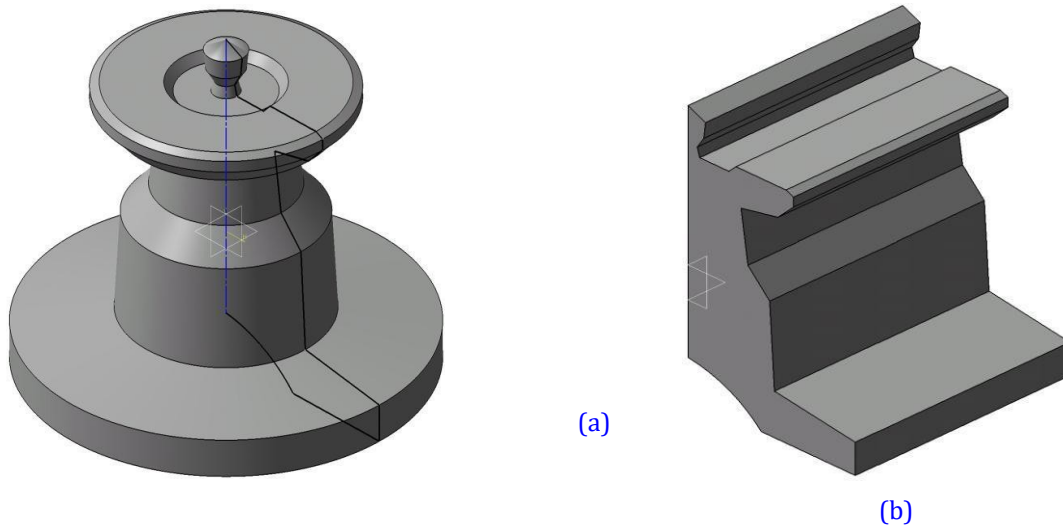


Fig.I.7 Modélisation par balayage, balayage par rotation (a), balayage par translation(b).

La technique de la modélisation par balayage joue un rôle essentiel dans la conception assistée par ordinateur (CAO), la modélisation graphique ainsi que dans le domaine de la robotique, notamment pour la génération de l'espace de travail atteignable par l'effecteur de robots manipulateurs spatiaux sériels et parallèles.

### Le maillage d'un corps solide

Cette technique d'approximation géométrique nous permet de décomposer un corps solide continu ou une surface en éléments ayant une forme géométrique simple. Ces éléments ont des côtés communs dont les nœuds (les sommets des éléments) représentent les points d'articulation de plusieurs éléments entre eux.

Nous devons souligner qu'avec cette technique nous introduisons généralement une erreur dans la discrétisation géométrique de l'objet. Nous proposons par la suite, dans ce travail de thèse, l'utilisation de la technique de maillage tridimensionnel d'octree disponible dans l'outil de CAO-SolidWorks dans le but de représenter l'espace de travail des robots manipulateurs parallèles plans, en prenant l'exemple du robot manipulateur de type 3-RPR [14].

## I.5 Historique de la CAO

La conception assistée par ordinateur est née aux États-Unis aux environs de 1950 au

## ***Chapitre I Généralités sur la conception et la conception assistée par ordinateur (C.A.O)***

moment où la General Motors et le Massachusetts Institute of Technology ont imaginé de converser avec un ordinateur par d'autres méthodes que la carte perforée, le ruban magnétique et le ruban perforé. En 1960, après un projet très élaboré, General Motors et IBM ont groupé leurs efforts pour mettre sur pied le premier écran graphique et ont abouti au projet nommé DAC 1 (Design Augmented by Computer) [14].

La plupart des systèmes de CAO sont développés et commercialisés par des sociétés spécialisées (Autodesk, Cisigraph, Computer-vision, Hewlett-Packard, IBM, Intergraph, etc.).

### **I.6 Industries impliquées dans les domaines de la CAO**

#### **➤ Industrie de l'automobile**

La CAO intervient dans la fabrication des moteurs (problèmes couplés en mécanique et thermique) et de diverses pièces, jusqu'aux calculs aérodynamiques pour la forme de la voiture.

#### **➤ Industrie aéronautique**

Modélisation des turbines, conception et fabrication de pièces diverses, résistances des matériaux aux écoulements fluides, ...etc.

#### **➤ Industrie textile**

Conception de tissus, matière du fil, texture, couleurs, motifs, optimisation du placement et réduction des pertes, ...etc.

#### **➤ Industrie nucléaire**

Calculs mécaniques et thermiques pour la conception des réacteurs nucléaires, calcul des écoulements de fluides, transferts de chaleur dans les échangeurs thermiques, ...etc.

#### **➤ Industrie chimique**

Essentiellement passage des expériences en laboratoire à une production industrielle, calcul de forme, infrastructure, transport de fluides, rejets de produits toxiques, ...etc.

### **I.7 Matériel du CAO**

Le matériel de base est un ordinateur qui assure une connexion étroite avec des périphériques graphiques, que ce soient des écrans, des traceurs de courbes ou des tables de dessin. Ce matériel doit être capable de traiter des problèmes techniques nécessitant une grande capacité

## ***Chapitre I Généralités sur la conception et la conception assistée par ordinateur (C.A.O)***

de traitement numérique, mais également de stocker en mémoire un grand nombre d'informations correspondantes aux données de description de l'objet en cours de conception.

Aujourd'hui, ce concept est remplacé par celui de station de travail qui comprend une capacité mémoire importante, une capacité de traitement souvent très grande et un écran en relation directe avec la mémoire. Une telle station de travail est parfaitement adaptée au travail en mode graphique interactif et devient donc l'outil de base idéal de tout système de CAO [13].

### **I.8 Logiciels CAO en mécanique**

Dans le cas général, les systèmes CAO en mécanique ont deux objectifs majeurs [10]:

- ❖ Aide à la conception et à la simulation ainsi que l'optimisation des cellules robotisées, au moyen des outils dont ils disposent pour la modélisation des robots et de leurs environnements. Ces systèmes permettent de générer des trajectoires, d'analyser les mouvements, de détecter les collisions et d'évaluer des temps de cycle.
- ❖ Les systèmes CAO en robotique permettent de créer hors ligne des programmes téléchargeables et exécutables par les robots manipulateurs conçus.
- ❖ Ces systèmes de CAO ont été développés principalement pour simuler des robots industriels ayant des structures sérielles. La simulation d'un robot existant dans une cellule de production complète permet aux concepteurs de réduire de manière très considérable le temps de conception d'un produit et d'améliorer sa qualité. De nos jours, le comportement des mouvements des systèmes robotisés simulés par un de ces logiciels est conforme à la réalité avec une grande précision.

### **I.9 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons défini les étapes de la conception en mécanique, ainsi déterminé la CAO d'une façon générale, ses commandes et son utilisation. On a aussi donné les différents logiciels qui existent dans l'industrie et leur importance dans la vie annuelle de l'entreprise. Ensuite un bref aperçu sur la CAO a été présenté en citant l'utilité des logiciels de CAO, leur domaine d'utilisation ainsi que les logiciels CAO en robotique.

# **Chapitre II**

## **Traitement de masse finition vibratoire**

## II.1. Nature et paramètres principaux du traitement de masse finition vibratoire (TMFV)

Le processus de TMFV présente un ensemble complexe des phénomènes mécano-physico-chimiques exerçant une influence primordiale sur l'état de la surface et la couche superficielle de la pièce à traiter [15]. En examinant le principe du processus, on doit noter que le caractère des phénomènes mécaniques et physico-chimiques durant l'application de TMFV est défini par les facteurs suivants [16] :

- 1) les propriétés physiques des MMFV ;
- 2) les caractéristiques du matériau de la pièce à traiter ;
- 3) les paramètres dynamiques du procédé, reflétant le mode opératoire du traitement ;
- 4) la composition, les propriétés et la quantité du CMFV dans la chambre de travail ;
- 5) autres conditions de la conduite du processus (le rapport des MMFV et les pièces à traiter, le niveau du chargement de la chambre de travail et le remplissage de son volume par le CMFV et d'autres).

Les paramètres généraux du procédé de TMFV sont [17] :

- La force des coups (micro-coups),
- Les caractéristiques du milieu de travail ou consommables (MMFV et CMFV),
- Le caractère du mouvement (trajectoire) de la chambre de travail et des granules MMFV, leurs vitesse et accélération,
- La pression de contact, la contrainte
- Et la température apparaissant dans la zone d'opération des micro-coups.

Généralement les valeurs numériques des paramètres indiqués sont les suivants [18] :

- La vitesse des MMFV peut atteindre de 0,5 à 1 m/s ;
- L'accélération de 20 à 150 m/s<sup>2</sup> ;
- La force des coups de 1,5 à 3 kgf ;
- Les pressions de contact qui peuvent atteindre de 700 à 1500 kgf/mm<sup>2</sup> ;
- La moyenne température dans la chambre de travail n'excède pas d'habitude de 30°C max 40°C ;
- L'amplitude change dans la plupart des cas dans la limite de 0,5 à 5 mm, très rarement elle

atteint 7 à 8 mm, les schémas des équipements de Masse Finition Vibratoire (EMFV) avec une liaison cinématique rigides admettent de 15 jusqu'à 20 mm, mais avec une fréquence relativement basse de 5 à 15 Hz ;

- La fréquence des oscillations pour un schéma de base des EMFV atteint de 15 à 50 Hz.

## II.2 Bref historique de la terminologie du traitement

Le polissage mécano-chimique appelé tribofinition [19], tonnelage, trovalisation, est un traitement qui consiste à ébavurer et à affiner la surface de pièces métalliques. Les pièces en question sont insérées avec des corps d'ébavurage ou de polissage (aussi appelés chips [20]), de l'eau et une solution nettoyante [21] dans des tambours hermétiquement clos. Par rotation ou vibration de tambours, une abrasion se produit à la surface et sur les arrêtes des pièces. On obtient une surface très lisse et, selon la durée d'usinage, très mate également, ce qui procure au produit un aspect noble et précieux.

« Le **terme trovalisation** est souvent employé en Suisse romande ; dérivé du verbe allemand 'trowalisieren', il a été utilisé pour la première fois par la famille **Walther** qui industrialise le polissage mécano-chimique ».

« Le **terme tribofinition** est souvent employé en France ; il a été utilisé pour la première fois par la famille allemande Rosler qui industrialise la technologie du traitement étudié dans plusieurs pays. En outre on trouve en France d'autres termes comme tribologie, matoplastie, trovalisation, polissage mécano-chimique, etc. Personnellement après une longue recherche je pose une question est-ce que ces termes définis possèdent la même régularité pour le même procédé ? ».

« Le **terme masse finition** est souvent employé dans les pays les plus avancés dans le mode : USA, JAPON, GRAND BRETAGNE et ALLEMAGNE, dérivé du terme américain 'MASS FINISHING', mais le laboratoire allemand avec leurs investigateurs à commencer de proposer un autre terme conformément à la régularité du procédé de traitement étudié, en 2011 les allemands ont organisé un congrès international à Frankfort sous le titre « Mass Finishing or Slide Grinding ».

### II.3 Bref historique de machine vibratoire

Une des premières mentions des équipements vibratoires, pour la réalisation des diverses opérations on utilisait la vibration [22], est trouvée dans la revue “The London Journal of Arts, Sciences and Manufactures, and Repertory of Patent Inventions//Conduit par Mr. W. Newton [23] - London, 1849. - Vol. XXXIV”.

En 1961 les investigateurs développaient une machine pour traitement vibratoire de finition des pièces, présentée sur la figure II.9 (brevet № 2997813 (US) “Apparatus for precision finishing of parts and objects by controlled vibration” - corporation Lord Chemical [24], William Brant [25]). Cette construction correspondait entièrement à la machine vibratoire moderne.

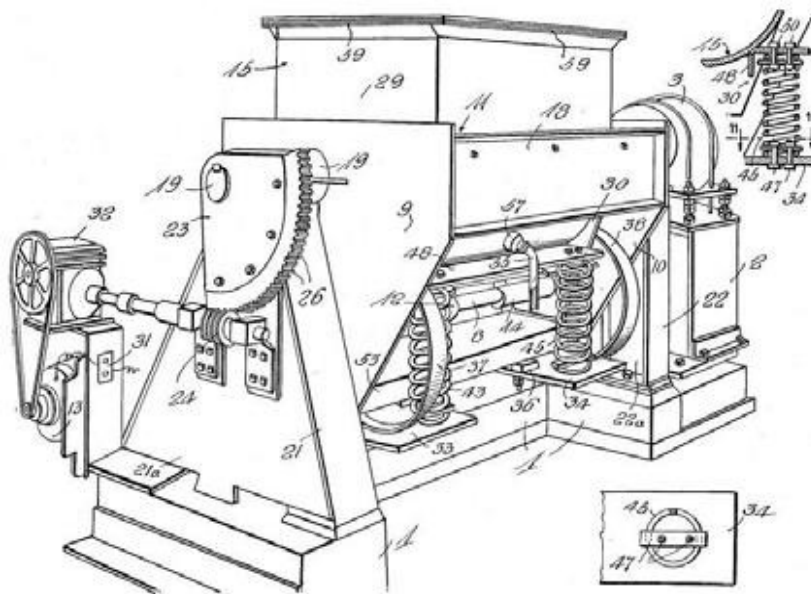


Fig.II.1. Machine vibratoire

## II.4 Fonctions du Traitement de Masse Finition

### II.4.1 Nettoyage

Le nettoyage est la principale fonction de la masse finition, elle est la base de toutes autres opérations de finition. Pour efficacement ébarber, affiner, inhiber, et sécher la surface, la pièce doit être propre [26].

Le nettoyage est tout simplement l'élimination de résidus indésirables de la pièce, ces résidus peuvent être présents sous forme de : poussière ou particules, fluide de découpage ou d'emboutissage, lubrifiants périmés, inhibiteurs de corrosion, oxydation.

Le procédé de nettoyage est tout d'abord une action chimique, mais elle est fortement complétée et renforcée par une action mécanique (c'est-à-dire les médias et les équipements).

#### II.4.2 Ébavurage

Pour les opérations d'ébavurage, on utilise des médias abrasifs pour rectifier : les traces laissées par les outils-coupants et les machines, les bavures, les bords pointus, les scories et même pour établir les rayons [27].

#### II.4.3 Raffinement de surface

Raffinement de surface diminue les finitions de surface rugueuse à des normes acceptables pour les opérations de : placage, polissage, anodisation et peinture. Généralement, ces finitions sont mesurées par un profilomètre qui évalue la topographie de la surface des pièces [28].

#### II.4.4 Inhibition

Une fois que la pièce est nettoyée, ébavurée, et la surface est raffinée, la pièce doit être protégée de l'oxydation et de la corrosion [29].

#### II.4.5 Séchage

Généralement, le résultat des fonctions précédentes donne une pièce humide. Pour assurer une inhibition optimale de la corrosion, la pièce doit être séchée. Ceci est réalisé avec les équipements de masse finition ; en utilisant l'épi de maïs broyé, généralement suivi avec de la chaleur, les morceaux de bois et de cuirs [30].

### II.5 principaux paramètres du TMFV

Principalement, les TMFV sont basées autour de quatre paramètres clés [31] :

- Les pièces à traiter,
- Les médias de masse finition vibratoire comme outil coupant (MMFV),
- Les composés et les solutions,
- Les équipements de masse finition vibratoire (EMFV).

## II.6 Optimisation des pièces à traiter

Pour répondre à l'objectif de travail, une bonne sélection de MMFV nécessite une analyse de la dureté, la ductilité et la configuration de la pièce qui sera traitée [32].

### II.6.1 Dureté

La dureté influence le type d'abrasif utilisé dans un grand degré. Exemple : les abrasifs de l'oxyde d'aluminium (corindon) présentent une dureté suffisante pour couper les métaux, les métaux d'alliages et les matières plastiques. Le carbure de silicium est un bon choix pour le traitement des carbures et des céramiques [33].

### II.6.2 Ductilité

Pièces ductiles sont plus enclines aux bavures pendant les opérations d'usinage préliminaires. Ses bavures sont difficiles à enlever et le TMFV est la solution nécessaire. En outre, ces pièces sont soumises aux endommagements pendant le procédé du traitement de collision des pièces [34].

### II.6.3 Rapports de MMFV à la pièce

Les rapports MMFV/Pièces déterminent le nombre de contacts entre pièces et MMFV. Le tableau II.1 présente quelques directives à suivre lors du traitement avec n'importe quelle machine vibratoire [35].

**Tableau II.1** Rapports MMFV/pièces

Rapports MMFV/Pièces par volume	Applications normales
0:1	Pas de MMFV. Pièces/Pièces. Utilisé pour assener des bavures. Aucun MMFV pour la coupe.
1:1	Des volumes égaux des MMFV et des pièces. Pièces forgées et moulées en sable. Surfaces brutes, très rudes.
2:1	Plus doux, plus de séparation
3:1	De moins pour les pièces de métaux non ferreux. Considérable pour contact Pièces/Pièces. Bon pour les métaux ferreux.
4:1	État probablement « moyen » pour pièces de métaux non ferreux. Juste de bonnes surfaces. Bon pour métaux ferreux.
5:1	Bon pour les métaux non ferreux. Contact minimal Pièces/Pièces.
6:1	Très bon pour les pièces de métaux non ferreux. Répandu pour traitement préalable de l'aluminium ou du zinc avec des MMFV en plastique.
8:1	Pour traitement préalable de finitions plus élevé.
10:1-15:1	Encore mieux pour les finitions de haute qualité. Utilisé pour Pièces de forme irrégulière

## II.7 Équipement de masse finition vibratoire (EMFV)

Les équipements de masse finition vibratoire (EMFV) sont disponibles en deux configurations, en forme circulaire et en tub. La plus grande différence entre les deux formes est la séparation de pièces et des MMFV après le traitement. Les EMFV en forme tub utilisent des dispositifs de contrôle externes et nécessitent que les MMFV soient déchargés de la machine sur l'écran [36].

Cela signifie que les MMFV doivent être rechargés dans une chambre de forme de tub, une fois la séparation est terminée, les machines circulaires fournissent à l'utilisateur la possibilité de séparer le contenu de la chambre sans déchargement et rechargement des MMFV.

Les EMFV utilisent des masses (poids) excentriques montées sur un arbre moteur rotatif de 50 à 60 Hz afin de générer des mouvements vibratoires.

Les EMFV en forme tub possèdent des masses montées sur l'arbre en horizontal qui s'étend le long de la chambre. L'action dans la chambre en forme tub peut être ajusté en augmentant ou en diminuant la quantité des masses excentriques, susceptibles de modifier l'amplitude de la vibration, et en faisant varier la vitesse de la rotation, ce qui modifie la fréquence de la vibration [37]. Les EMFV circulaires ont des masses excentriques montées sur un arbre moteur vertical s'étendant vers le bas à travers le centre de la chambre.

Les masses excentriques sont situées à chaque extrémité de l'arbre avec la plaque excentrique positionnant le poids des masses supérieur au poids des masses inférieures d'environ de 120 degrés. L'arbre tourne dans le sens inverse du déplacement des MMFV à l'intérieur de la chambre [38].

## II.8 Variables qui influent sur les caractéristiques des EMFV

### II.8.1 Dimensionnement de la pièce

La taille de la chambre circulaire détermine la longueur, la largeur et la hauteur de la plus grande pièce, qui peut être traitée dans cette chambre ; un système de machine travaillant correctement dépend de la dimension de la largeur du canal de cette chambre. Autrement dit, la pièce doit déplacer librement dans un repère (x, y, z).

Les pièces supérieures à la dimension maximale peuvent être traitées dans une chambre ayant un canal plus large pour que la pièce ne touche pas les parois internes et externes de la chambre [39].

### II.8.2 Capacité

La capacité de remplissage est représentée sous forme de CMFV et MMFV [40]. Les opérations d'ébavurage et de polissage sont effectuées avec de différentes formes de MMFV qui sont variées en densité et en poids :

- Le poids des MMFV à base de céramique fait environ de 45,36 kg par 28,317 l.
- Le poids des MMFV à base d'acier fait environ d'environ 136,08 kg par 28,317 l.
- Le poids des MMFV à base de plastique fait environ d'environ 24,948 kg à 38,556 kg par 28,317 l.
- Le poids des MMFV sèches à base organique de 11,34 kg à 15,876 kg par 28,317 l.

Pour des résultats meilleurs et plus rapides, toutes les machines circulaires doivent être exécutées en 2/3 - 3/4 plein de MMFV. Si la quantité de MMFV est grande ou le poids que vous pouvez obtenir dans la machine, alors la fonction du traitement sera plus rapide. Comme une indication approximative, la capacité des pièces qui peuvent être traitées dans ces équipements peut être déterminée avec un certain nombre de facteurs, comme suit :

### II.8.3 Poids

Pour les fonctions d'ébavurage, on utilise en poids 50 à 60 % de MMFV par apport aux pièces. Autrement dit, si la machine peut contenir 28,317 l alors il faut mettre 45,36 kg de MMFV en céramique, on peut normalement ajouter de 40 à 50 kg de pièces dans ce même système de machine par lot pour un total de 68,04 kg.

Pour les fonctions de polissage, on utilise 80 à 90% en poids des MMFV par apport aux pièces. Basé sur 28,317 l qui fait de 4,536 kg à 9,126 kg de pièces. L'utilisation de MMFV sec à base organique, qui fait env. 11,34 kg de MMFV à 6,804 kg de pièces = 18,144 kg [41].

### II.8.4 Volume

- 28,317 litres pour un système de machine qui peut traiter une quantité de pièces que nous pouvons la mettre dans une chambre de 12 "x 12" x 12 ".
- 14,1585 litres pour un système de machine qui peut traiter une quantité de pièces qu'on peut la mettre dans une chambre de 6 "x 6" x 6 ".
- 7,079 litres pour un système de machine qui peut traiter une quantité de pièces qu'on peut la mettre dans une chambre de 3 "x 3" x 3 " [41].

### II.8.5 Moteurs (vibrateur)

Tous les Équipements de Masse Finition Vibratoire (EMFV) reçoivent leurs énergies à partir des poids excentriques attachés au moteur [42]. Plus le poids est plus élevé la montée verticale de la chambre est plus agressive le mouvement à l'intérieur de la chambre et le temps de traitement plus court. Généralement, plus le poids est excentrique plus la pression est exercée sur le moteur et les roulements. À un certain point, la durée de vie du moteur est déterminée par le poids de l'excentrique.

## II.9 Équipement de Masse Finition Vibratoire en forme Tub (EMFVT)

L'EMFVT se compose d'une chambre généralement ouverte, où la section transversale est en forme de U (voir la figure II.2); ronde, ou en forme modifiée. La figure II.3 montre trois types de chambres. Les modifications de la section transversale en forme de U sont réalisées pour développer un déroulement plus uniforme de la masse, parce que la section transversale en forme de U a une tendance pour certains flux de retour contre l'une des parois.

Le dispositif de création de l'action vibratoire est un arbre unique monté directement au-dessous de la chambre. À chaque extrémité de l'arbre ou sur toute sa longueur se trouvent des masses excentriques avec une installation pour ajouter ou réduire certains poids. Plus le poids l'amplitude est plus.

Plus rapide l'action est plus rugueuse la finition de surface ainsi plus l'usure des MMFV. L'arbre peut être entraîné par un moteur couplé à l'arbre par l'intermédiaire d'un accouplement flexible ou par courroies. La vitesse variable de rotation de l'arbre est relativement facile à obtenir et elle donne de vibration à fréquence variable. Plus la fréquence plus la coupe, mais plus rugueuse la finition de surface [43].

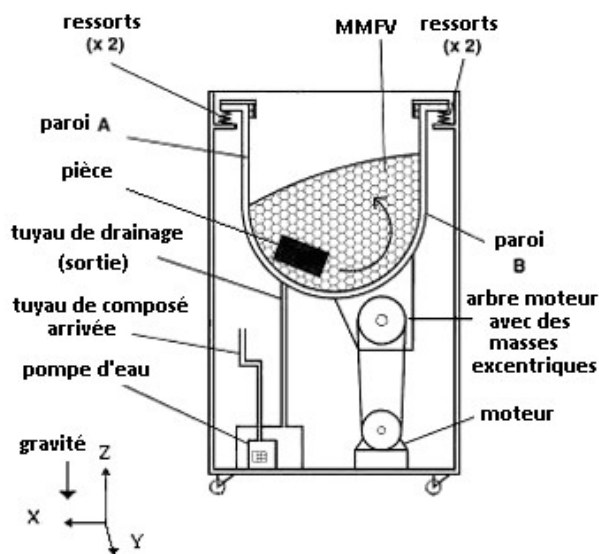


Fig.II.2 EMFVT, montrant la trajectoire et le mouvement de la pièce

Les modifications du système d'entraînement (moteur) incluent :

- Utilisation de double arbre, comme le montre la figure II.3 (b) et (c), afin de maintenir une plus grande uniformité du mélange pièces/MMFV et d'offrir une action plus rapide [45].
- L'utilisation de l'arbre à excentrique, au lieu des masses excentriques situées aux extrémités d'un arbre, pour donner une plus grande cohérence de l'action tout au long de la charge.
- Emplacement des masses excentriques ou des arbres d'un côté, en haut de la paroi de la chambre, ou sur les deux côtés.

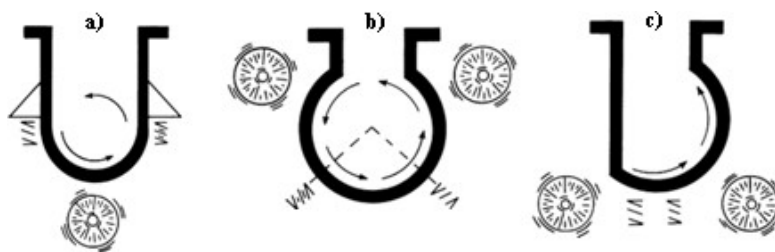


Fig.II.3 Types de chambres EMFVT

Les EMFVT peuvent être dimensionnés pour répondre aux principaux traitements selon la configuration des composantes. Les EMFVT se trouvant dans le domaine de la production industrielle pour traiter des pièces de longueurs plus de 12 m et d'autres EMFV en forme de tub pour des pièces de section jusqu'à 2 m.

## II.10 Conclusion

L'EMFV peut être ajustée pour produire à la fois une action douce et agressive par la mise en place des charges et en ajustant l'angle d'alignement des poids en relation l'un à l'autre. L'utilisation des quatre règles principales de l'EMFV est une excellente méthode pour vérifier les caractéristiques de fonctionnement de n'importe quel EMFV.

Le mouvement de la masse dans le canal de l'EMFV crée une hélice ; une hélice complexe possède plus de rouleaux par tour ce qui augmente le contact entre les MMFV et les pièces ainsi la réduction du temps de traitement.

Puisque l'hélice complexe augmente le contact entre les pièces, en particulier lorsque les pièces se trouvent au centre du moyeu, cela doit être limité pour certaines pièces rigides, telles que les pièces traitées thermiquement, les aciers trempés. Une hélice ouverte possède moins de rouleaux par tour avec une courte distance et elle est mieux adaptée pour les pièces délicates telles que les pièces coulées sous pression.

# **Chapitre II**

## **Traitement de masse finition vibratoire**

### III.1 Introduction

Le logiciel **SolidWorks** est une application de conception mécanique qui tire partie de l'interface utilisateur graphique de Microsoft Windows. Grâce à ce logiciel, les concepteurs peuvent esquisser rapidement une idée, expérimenter avec des fonctions et des côtes et produire des modèles et des mises en plan précis.

**SOLIDWORKS** est un modéleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés [53].

### III.2 Choix de l'outil informatique de CAO

L'utilisation de la conception assistée par ordinateur est un impératif pour tout concepteur de produit, mais l'acquisition d'un logiciel de CAO pour une entreprise doit être réfléchi afin de trouver celui qui sera le plus adapté à son métier et le plus efficace. Ci-suit les critères les plus courants pour le choix d'un logiciel de CAO, en fonction de trois principaux points de vue [54].

#### III.2.1 Choisissez un logiciel de CAO avec des modules intégrés

La CAO 3D est encore plus productive avec des modules pour l'automatisation et l'analyse de la conception. Si vous êtes amené à simuler un comportement physique tel que la dynamique, la pression, la déflexion, les vibrations, la température ou encore le débit d'un fluide, cherchez un logiciel intégrant des outils d'analyse ou des interfaces efficaces avec le logiciel de base. C'est le cas de la gamme **SOLIDWORKS**.

De plus, les entreprises amenées à réaliser beaucoup de conceptions ont besoin d'un logiciel de gestion des données de produits (PDM) intégré et/ou interfacé à leur logiciel de CAO. Alors que les relations entre les fichiers dans les logiciels de CAO sont souvent complexes, un outil automatisé pour les stocker et les organiser est nécessaire. Les outils de

PDM permettent notamment d'aider les concepteurs à réutiliser des pièces existantes au lieu de les réinventer. Explorez les fonctionnalités de SOLIDWORKS PDM.

### **III.2.2 Choisissez un revendeur innovant pour votre logiciel de CAO**

La technologie informatique est en constante évolution et si votre revendeur ne l'accompagne pas, vous constaterez dans quelques années que votre entreprise dispose d'un logiciel de CAO obsolète et coûteux à gérer. Choisissez donc un outil amené à évoluer régulièrement ainsi qu'un revendeur possédant les compétences et l'expérience nécessaires pour vous aider à réussir la transition vers une conception performante.

### **III.2.3 Choisissez un logiciel de CAO qui s'aligne avec votre écosystème**

Dans le monde actuel des affaires, la plupart des entreprises font appel à des fournisseurs et sous-traitants pour les pièces, les outils, et-ou encore les équipements de production. Que votre société soit un fournisseur ou un client, elle se trouvera de toute façon dans l'échange de fichiers de CAO avec des tiers.

Choisissez donc un logiciel de CAO qui soit adapté à votre secteur et votre communauté de partenaires. Ce choix éliminera le besoin de convertir les fichiers d'un logiciel à un autre, puisque ce procédé prend du temps et introduit parfois des erreurs. Examinez toutefois la capacité de chaque logiciel à importer ou exporter des propriétés de fichier et des nomenclatures.

Choisir son logiciel de CAO nécessite une réflexion et une connaissance approfondies des besoins techniques de votre entreprise.

## **III.3 Les avantages de SolidWorks CAO 3D**

Les logiciels de Dessin Assisté par Ordinateur DAO connaissent un tel essor que les planches à dessins des bureaux d'études sont en passe de devenir des pièces de musée. Ce marché s'est largement développé, même sur micro-ordinateur.

Le logiciel de référence sur micro est SolidWorks commercialisé par la société DASSAULT. Une version complète SolidWorks coûte quelques dizaines de milliers de Euros mais de très nombreuses sociétés proposent des produits concurrents beaucoup moins chers (moins de 5000 Euros). Ainsi DesignCad (USA) avec ses produits DesignCAD-2D et 3D vend des milliers d'exemplaires par mois [55].

En revanche les logiciels de SolidWorks dédiés au calcul des structures sont beaucoup moins répandus et beaucoup plus chers.

Comment gérer facilement l'intégralité de vos données de conception SOLIDWORKS?

Les avantages à gérer vos données SOLIDWORKS dans la 3D. En effet, la plateforme 3D de Dassault Systèmes vous permet de :

- Centraliser et sécuriser vos données de conception
- Gérer et maîtriser vos modifications
- Garantir la mise à disposition des bonnes versions
- Intégrer tous les acteurs de la chaîne de valeur de l'entreprise étendue.

Logiciel le plus utilisé par les ingénieurs et les concepteurs, SOLIDWORKS est utilisé à l'international par des millions d'entreprises.

Utilisée tout au long du processus de développement de la conception, la simulation SOLIDWORKS est un outil analytique efficace qui permet au concepteur de visualiser les comportements des produits dans différentes situations et conditions de fonctionnement.

### III.4 Présentation de SolidWorks

Solidworks est également connu sous le nom de «DSS Solidworks». DSS désigne Dassault Systems, qui est le développeur de ce logiciel de CAO. Il s'agit d'un logiciel de CAO qui permet de créer des modèles solides 2D ou 3D sans aucune complexité, plus rapidement et de manière rentable.

L'avantage principal du modélisateur solide est que très facile à utiliser, l'interface utilisateur graphique simple et beaucoup plus amical, par rapport à d'autres logiciels de modélisation solide CAD. Il contient la modélisation solide, Motion, Simulation, Boîte à outils, TolAnalyst, Circute Works, PhotoView 360, ScanTo3D, et éditeur DWG [56].

Solidworks est considéré comme un logiciel de CAO avec Haute productivité (jusqu'à 95%). Il offre une meilleure visualisation de conception, concevoir de meilleurs produits, des itérations de conception plus rapides, des communications améliorées, la conception avec moins d'erreurs, crée des designs de produits avec plus d'esthétique et répond également aux exigences des clients / clients.

Solidworks a une vaste gamme d'applications dans des industries telles que l'aérospatiale, la défense, l'automobile, le transport, les produits de consommation, l'électronique, usine de traitement, la conservation de l'énergie, la construction, l'équipement lourd, machines, outils médicaux, Mold & prestations de service. Il aide à concevoir différents produits et services, les tester de manière très rentable comme le modèle et le prototype de test.

### **III.4.1 Historique**

En 1993, trois ingénieurs de B.T.C ont créé un logiciel de CAO de la génération des modeleurs 3D. Le développement de ce logiciel a nécessité trois années, et sa venue en Europe en 1996. Dix mises à jour depuis ont participé à l'évolution de ce produit. C'est un produit qui a été écrit et optimisé pour l'environnement Windows.

En juillet 1997, DASSAULT SYSTEM rachète la société qui est détentrice de la licence du produit et l'intègre dans l'univers DASSAULT.

### **III.4.2 Fonctionnement**

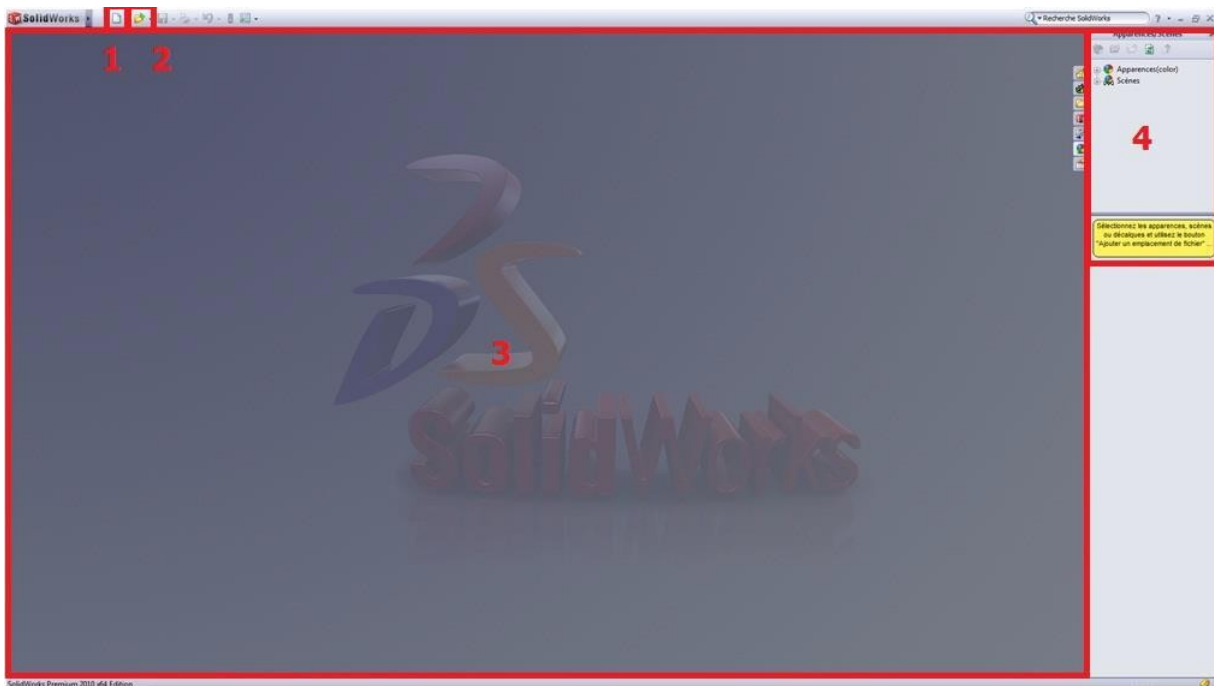
SolidWorks est assez intuitif, et modéliser une pièce est assez rapide contrairement à d'autres logiciels de CAO. Cependant, il existe quelques astuces pour se simplifier le travail, mais vous n'êtes bien évidemment pas obligé de les utiliser.

Lancez SolidWorks.



**Fig.III.1** Lancement de SolidWorks

Ceci est l'écran d'accueil de SolidWorks figure III.1. Vous remarquez les différentes parties de l'interface voire la figure III.2 :



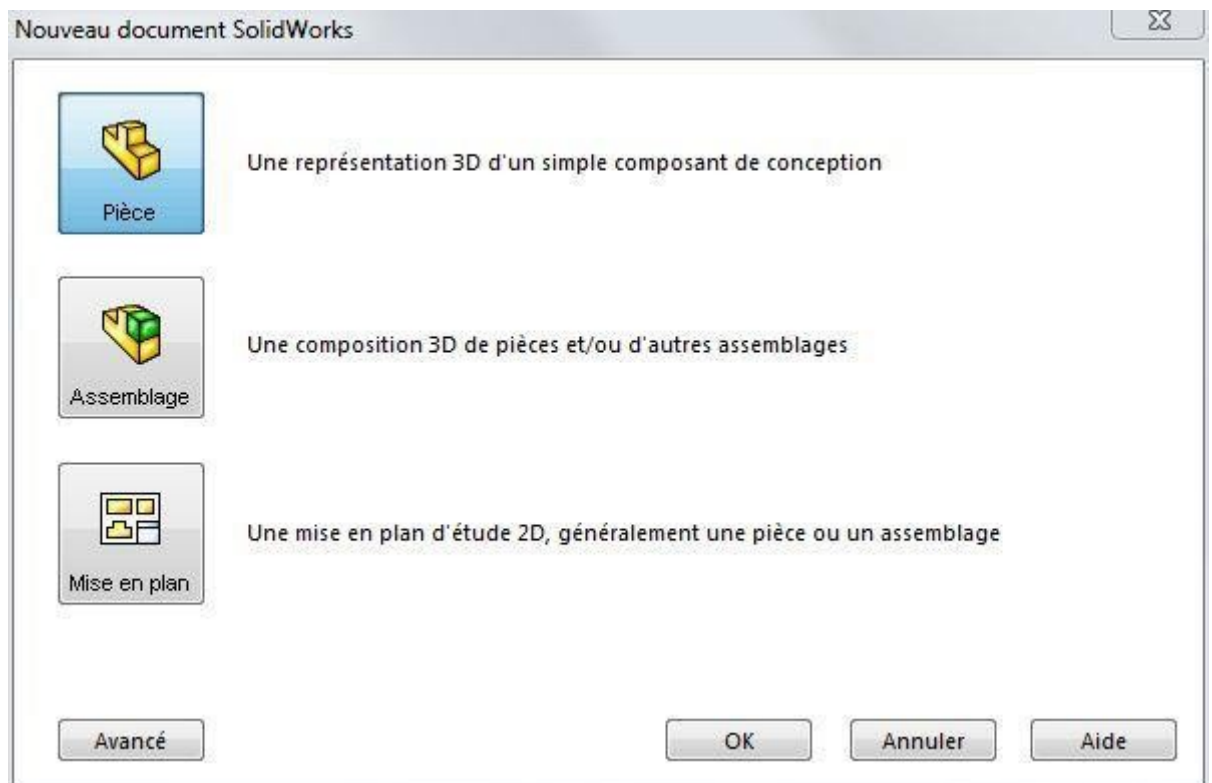
**Fig.III.2** Parties de l'interface

1. Nouveau fichier (Pièce, Assemblage, ...)
2. Ouvrir un projet existant
3. Zone de dessin
4. Apparence/Scène

Voici les principales parties constituant l'interface de SolidWorks.

La partie "Apparence/Scène" ne nous servira que bien plus tard.

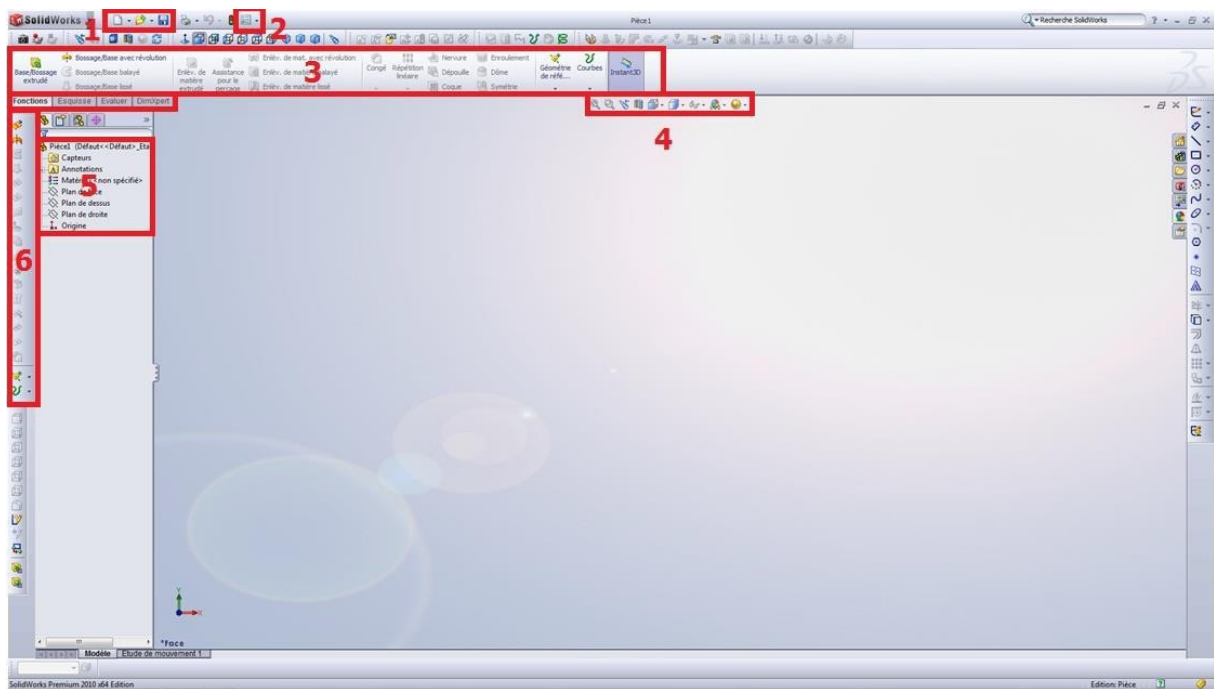
Pour créer un nouveau projet voir figure III.3, vous l'aurez deviné, cliquez sur "Nouveau". Là, une fenêtre apparaît pour nous demander quelle sorte de projet nous voulons créer.



**Fig.III.3** Nouveau projet

3 choix s'offrent à vous :

- Créer une pièce
- Créer un assemblage
- Créer une mise en plan.



**Fig.III.4** Interface d'option

1. Vous reconnaissez les boutons "Nouveau", "Ouvrir", et "Enregistrer".
2. Les Options !
3. Le bandeau principal, que nous utiliserons le plus souvent.
4. Diverses icônes : Vue en coupe, Zoom, Apparence, Vues, ...
5. L'Arbre de conception.
6. Un autre bandeau, que l'on utilisera pour les surfaces.

Pour personnaliser l'interface voire la figure III.4, cliquez sur la flèche sur le côté du bouton "Option" voire la figure III.5. Une liste apparaît, cliquez sur "Personnaliser".

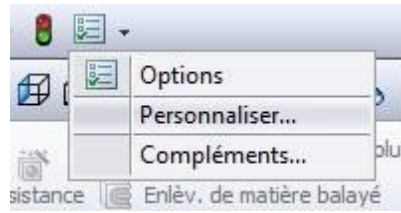


Fig.III.5 Fichier des options

Cochez ensuite "Surfaces" et "Tôlerie" voire la figure III.6, ce qui aura pour effet d'ajouter à votre interface les barres d'outils correspondantes.

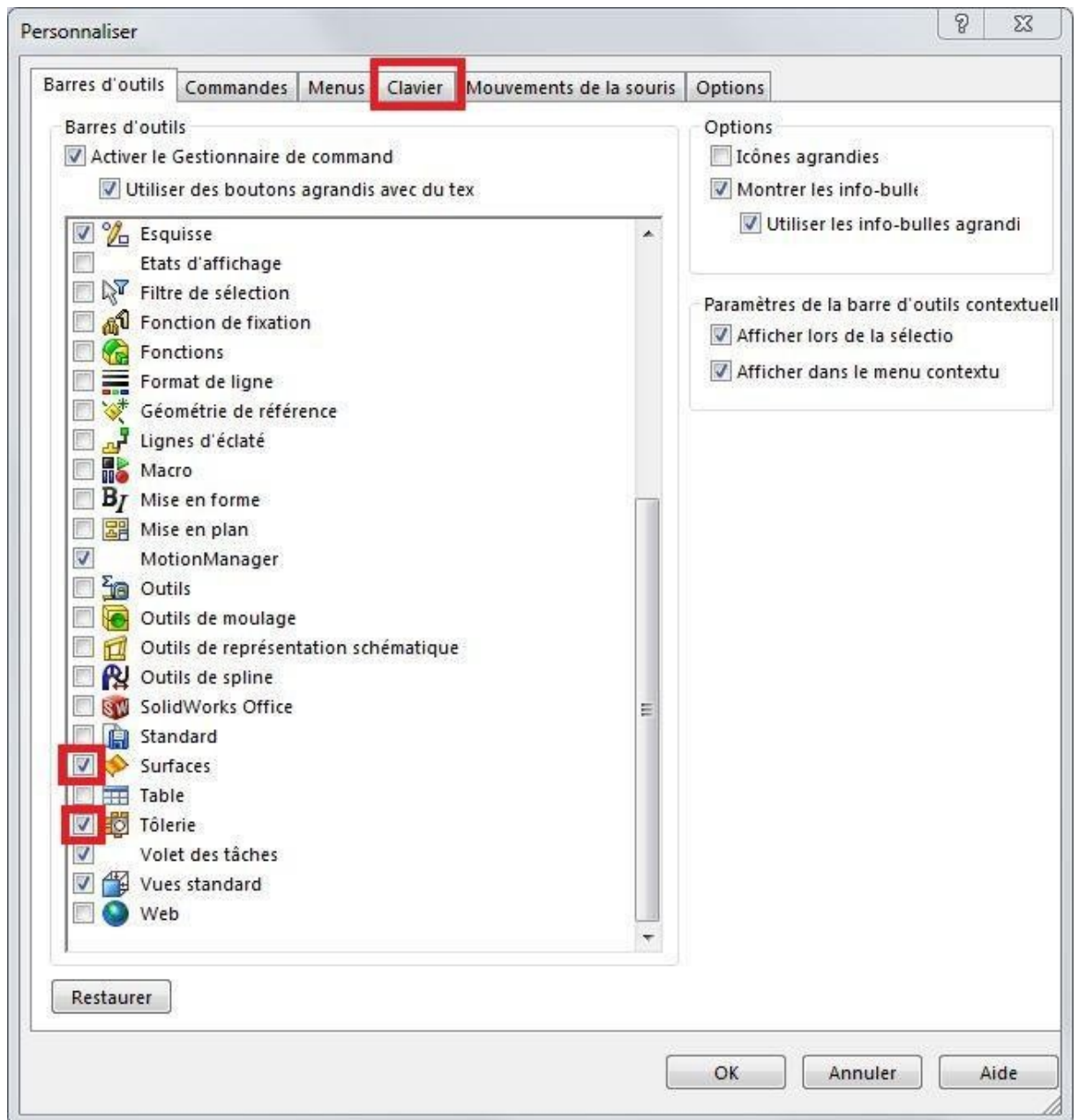


Fig.III.6 Interface des barres d'outils

Cliquez ensuite sur l'onglet "Clavier", pour accéder aux raccourcis. Sélectionnez ensuite "Autre" dans la liste déroulante. Puis effectuez les modifications des raccourcis clavier, à votre guise bien sûr, pour faciliter votre travail ultérieurement.

### III.4.3 modéliser dans SolidWorks

Maintenant que notre interface est bien personnalisée, que l'on sait comment créer un projet, attardons-nous un peu sur des points importants pour comprendre comment procéder pour arriver à créer une pièce et un assemblage. ;)

#### III.4.3.2 Le fonctionnement de la CAO

Nous avons rencontré dans les précédentes parties, quelques mots de vocabulaire. Nous allons les expliquer, et approfondir un peu sur la manière de procéder pour modéliser une pièce, pour que les choses soient claires.

##### III.4.3.2.1 Les projets

La fenêtre qui apparaît quand on clique sur "Nouveau" ?

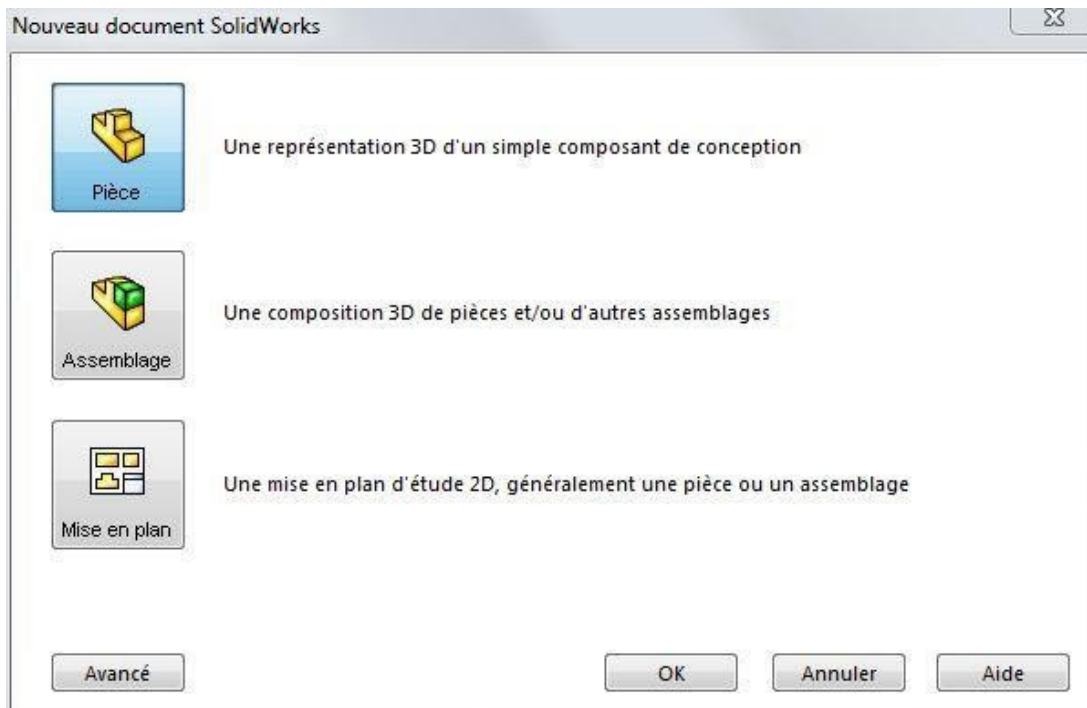


Fig.III.3 Nouveau projet

La pièce, vous avez dû comprendre, c'est une partie du projet. C'est une petite entité que l'on modélise. Les pièces sont ensuite assemblées dans un Assemblage.

### Les esquisses

Les esquisses sont des petits "dessins" qui donnent le profil de votre pièce. Il existe des esquisses 2D (sur un plan, une face) et des esquisses 3D.

### Donner du volume

Dans tous logiciel de CAO, vous avez les mêmes outils qui vous permettent de donner du volume à vos esquisses. On a :

- L'extrusion
- La révolution
- Le balayage
- Le lissage.

### Les surfaces

La partie "surfacique" de SolidWorks permet comme son nom l'indique, de créer des surfaces. D surface est un objet, défini par des esquisses, et qui a une épaisseur nulle. Il existe différentes manières de générer des surfaces :

- Extrusion
- Révolution
- Balayage
- Lissage
- Remplissage
- Plan
- Décalage

➤ Prolongement

Si vous venez de vous lancer dans la CAO en utilisant SolidWorks, les quelques notions données précédemment ont sûrement dû vous sembler un peu courtes. Donc, pour les débutants, des exercices pratiques pour se familiariser directement avec SolidWorks et quelques fonctionnalités pour bien démarrer sur SolidWorks faire fonctionner le tutoriel du SolidWorks, pour arriver à suivre, présenter et acquérir quelques bases sur SolidWorks.

**Chapitre 4:**  
**Modélisation des pièces de la**  
**machine vibratoire**

# IV Chapitre IV: Modélisation des pièces de lamachine vibratoire

## IV.1 Introduction

Le but de notre travail est de faire la rétro conception de la machine vibratoire avec une chambre en forme circulaire. À cet effet ce chapitre sera consacré à la conception des différentes pièces de cette machine avant de passer à l'assemblage de ces dernières dans le prochain chapitre.

La conception mécanique de ces pièces se fera par des outils informatiques de CAO dans ce cas nous utilisons SolidWorks 2015. Cédons les étapes de modélisation de chaque pièce (au moins 5 pièces détaillées vues le nombre important de pièces).

Avant de passer à la rétro conception de ces pièces, on va d'abord présenter un rappel sur la modélisation géométrique d'une façon générale.

## IV.2 Modélisation géométrique

### IV.2.1 Définition

Il existe trois types de modélisation 3D : filaire, surfacique et volumique. Ces modélisations permettent une représentation « réelle » des objets. Elles apportent une aide très précieuse quand la complexité des formes et/ou des représentations de ces formes devient trop importante pour la méthode classique du dessin technique utilisée en 2D .

Une des contradictions importantes que doivent résoudre les modélisations tridimensionnelles est la nécessité d'une représentation, le plus réel possible, des objets et la nécessité d'un temps de réponse le plus réduit possible (pour l'affichage à l'écran).

Une solution est de faire varier la modélisation et/ou la représentation utilisée en fonction du stade d'avancement des travaux où elle intervient. Par exemple, dans un même logiciel, « couplage » des modélisations filaire et surfacique ou surfacique et volumique, ou « couplage » de différentes représentations : traits ou images (ombrées, colorées).

### IV.2.2 Avantages

Le 3D permet souvent de diminuer (ou d'éviter) l'étape coûteuse (et fastidieuse) de la maquette. Ceci grâce aux caractéristiques suivantes :

- Les visualisations possibles.
- L'ouverture du modèle.

### IV.2.3 Inconvénients

Les inconvénients ne sont pas absents, surtout en ce qui concerne :

- Les coûts.
- Les temps.
- Les applications.

### IV.3.1 Machine vibratoire circulaire

Les machines vibratoires équipées d'une chambre de travail de type circulaire, c'est un moyen universel de traitement de finition de produits de tous les types de matériaux. Les machines vibratoires sont conçues pour être utilisées dans les industries de traitement des métaux et de la construction mécanique.

À l'intérieur, la surface de travail de la machine est recouverte de polyuréthane, qui est assez résistant aux environnements agressifs. Dans les parties les plus chargées de la machine sont utilisées des nœuds produits par des entreprises de renommée mondiale : INA, SKF et FAG.

En outre, toutes les pièces qui se prêtent à la charge de vibration pendant la fabrication subissent un traitement thermique supplémentaire. Cela réduit le risque de défaillance des nœuds en raison de la fatigue des métaux.

Les figures IV.1 et figures IV.2 donnent les différentes pièces qui composent la machine vibratoire avec une chambre de travail en forme circulaire.

Il y a des pièces qui sont emboîtées telles :

- Les vis.
- Les pièces dépendant du vibreur-moteur.

- Les pièces dépendant de la pompe d'alimentation.
- Quelques pièces non figurant, tel le système d'alimentation(électrique, solution liquide).
- Et d'autres.

### **IV.3.2 Caractéristiques de la machine vibratoire**

Les principales caractéristiques de la machine vibratoire sont :

- Capacité de la chambre de travail, en litre 125 L
- Épaisseur du revêtement en polyuréthane, 20 mm
- Épaisseur de paroi du tambour, 6 mm
- Largeur, 900 mm
- Longueur, 900 mm
- Hauteur, 450 mm
- Poids, 320 kg
- Nombre de tours, 11800 rpm
- Puissance, 0.75 kW

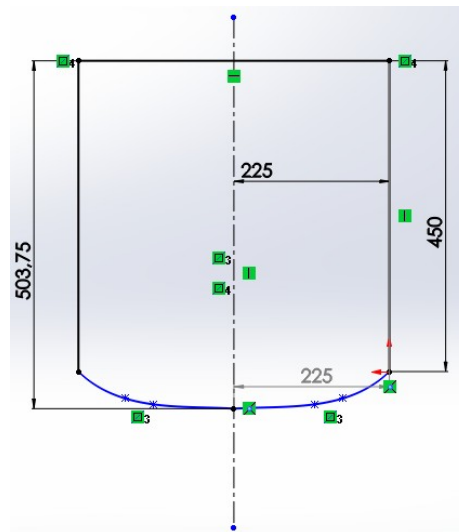
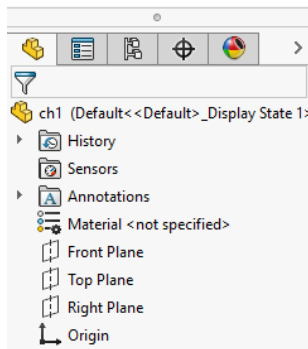
## IV.4 Modélisation des pièces de la machine vibratoire

La modélisation des pièces se réalise en plusieurs étapes

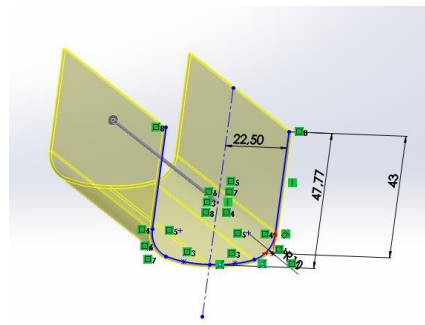
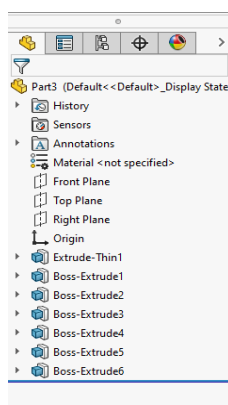
### IV.4.1 Modélisation de Chambre de travail




Etape N° 1 Démarrer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

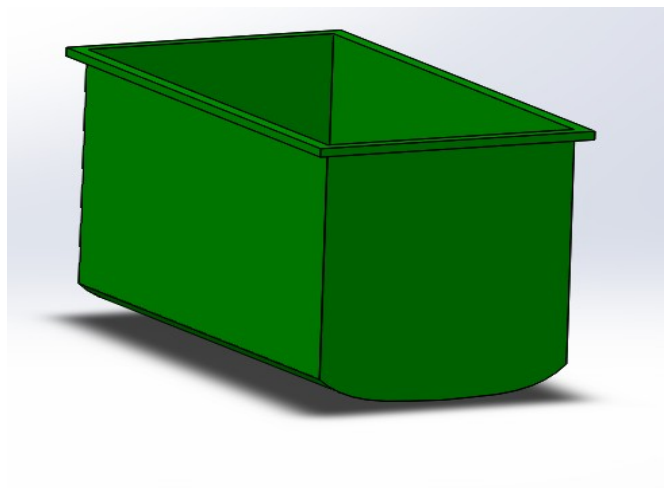
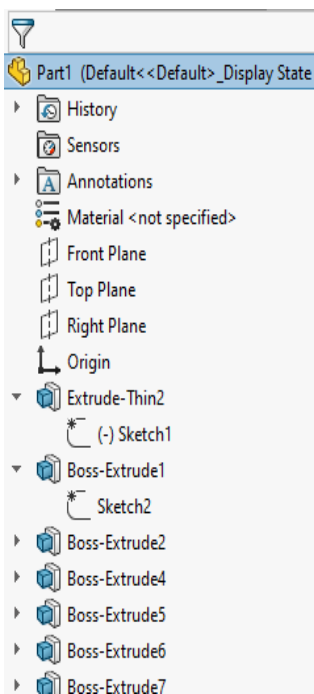
Etape N° 2 Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



Etape N° 3 Sélectionner le plan de dessus, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



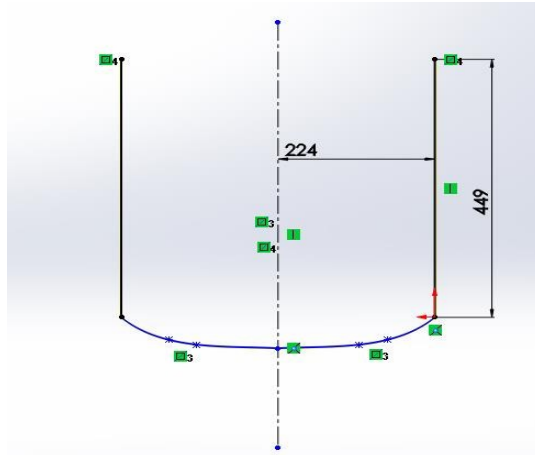
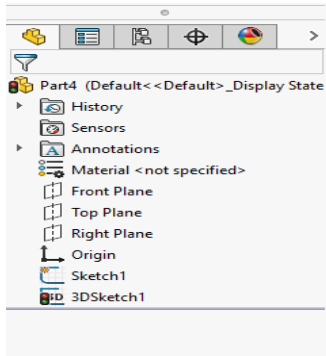
Etape N° 4 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions. il faut alors choisir l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions ,et  répétition circulaire .



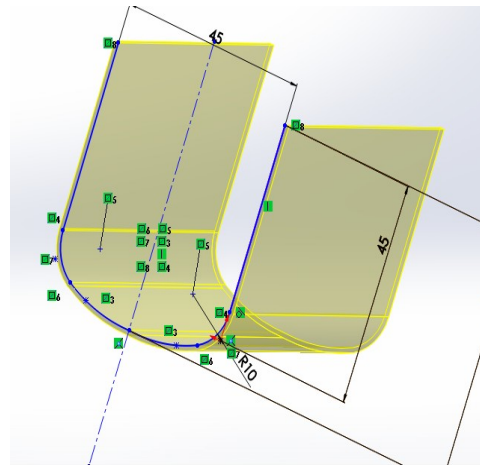
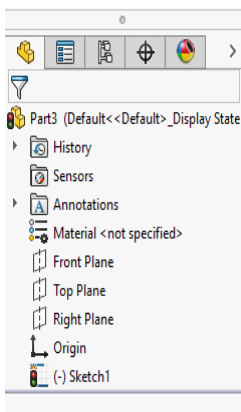
### IV.4.2 Modélisation de Chambre de couverture




Etape N° 1 Démarrer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

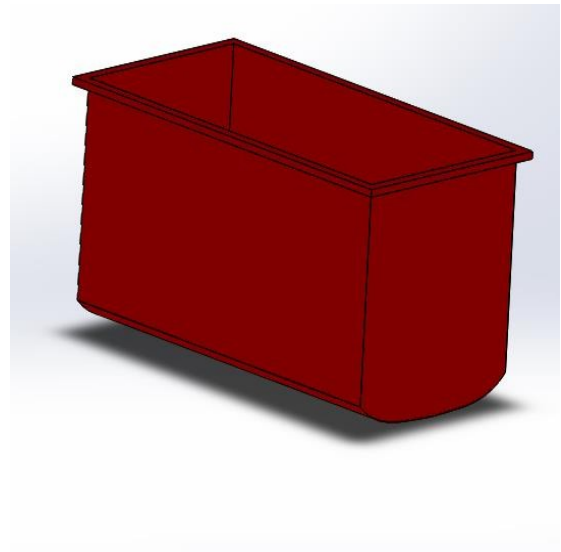
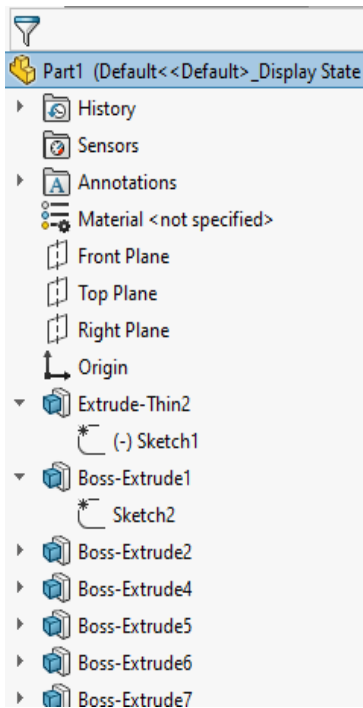
Etape N° 2 Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



Etape N° 3 Sélectionner le plan de dessus, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



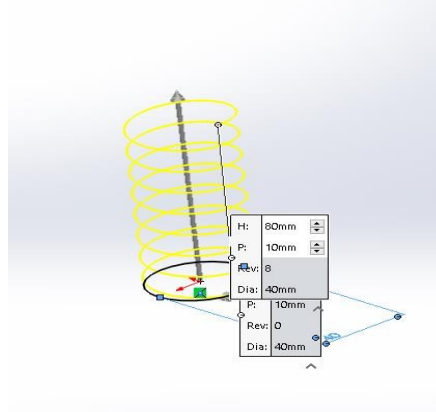
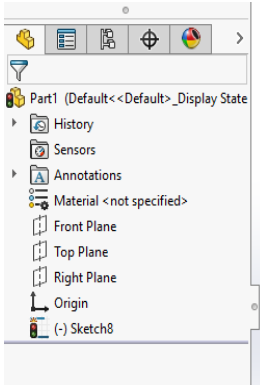
Etape N° 4 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions, il faut alors choisir l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions et l'icône  congé.





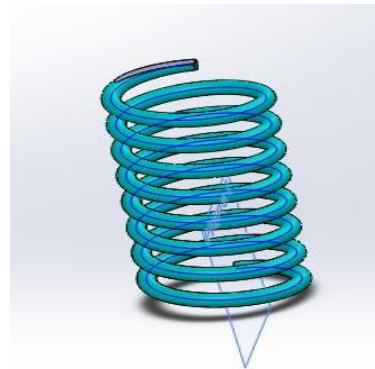
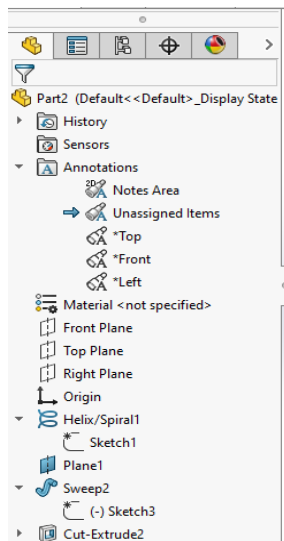
### IV.4.3 Modélisation de élément flexible n01

Etape N° 1 Commencer SolidWorks et défaire une nouvelle pièce.

Etape N° 2 Choisir le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



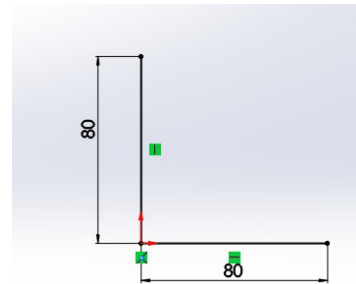
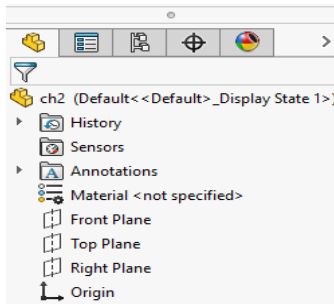
Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Hélice et Spirale, il faut alors choisir l'icône  Créé une fonction volumique en balayant un profil fermé le long d'une trajectoire ouverte ou fermée.



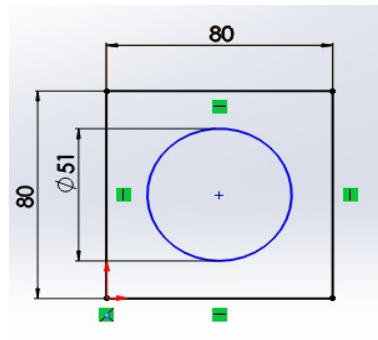
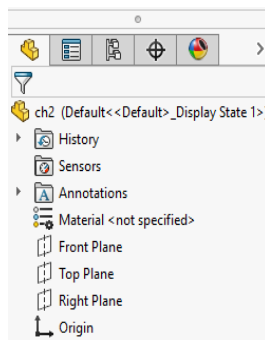
### IV.4.4 Modélisation de l'élément flexible n02



Etape N° 1 Commencer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

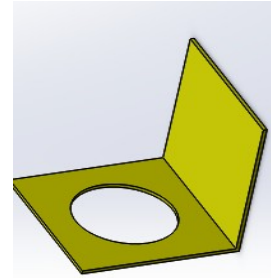
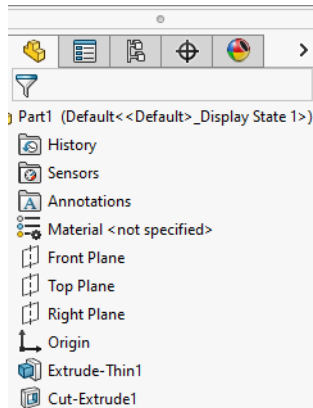
Etape N° 2 Choisir le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



Etape N°3 Sélectionner le plan de dessus, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



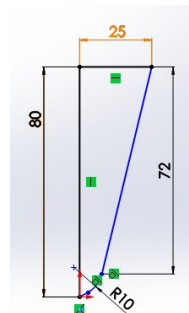
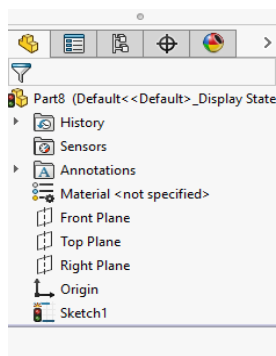
Etape N° 4 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions. Il faut alors choisir l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions.





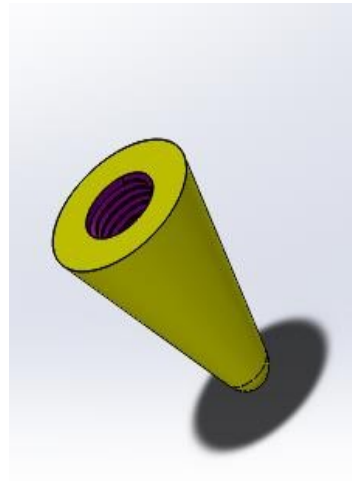
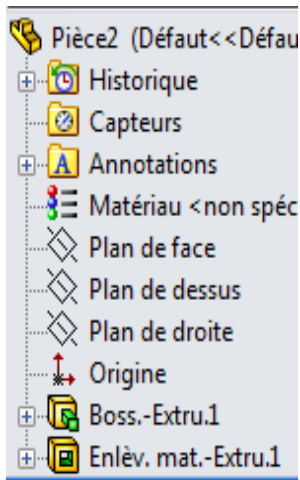
### IV.4.5 Modélisation de l'élément flexible n03

Etape N° 1 Démarrer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

Etape N° 2 Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



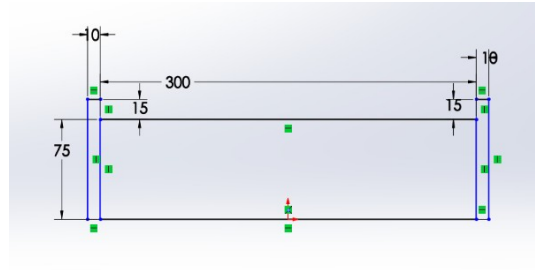
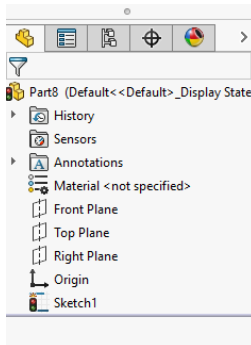
Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions, il faut alors choisir l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions.



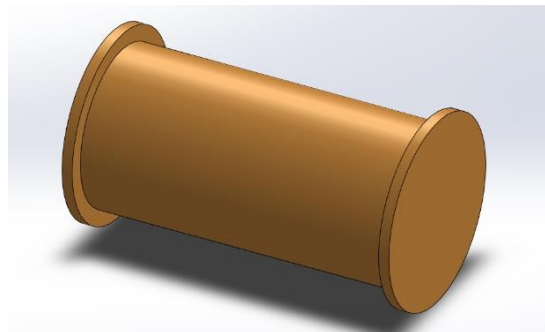
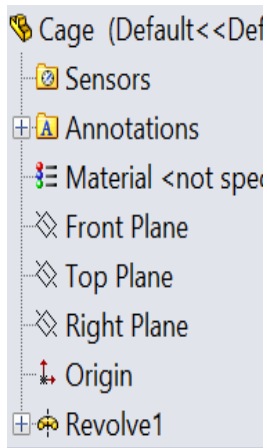
### IV.4.6 Modélisation de vibreur




Etape N° 1 Commencer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

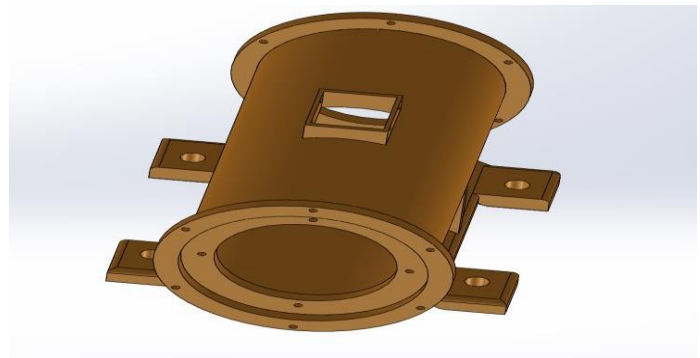
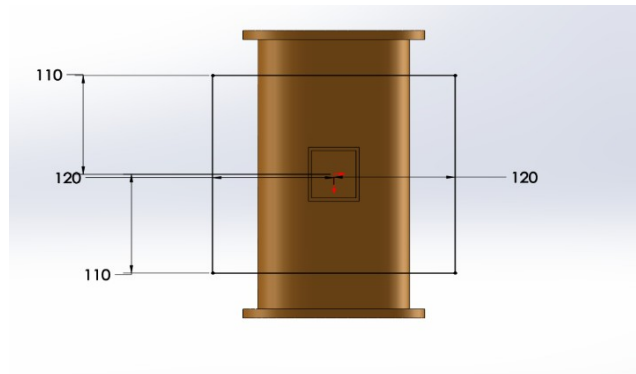
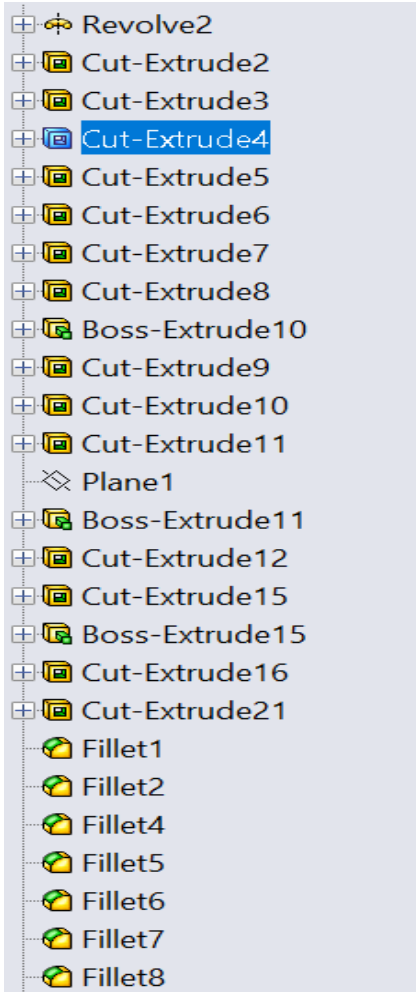
Etape N° 2 Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer bossage avec une revolution



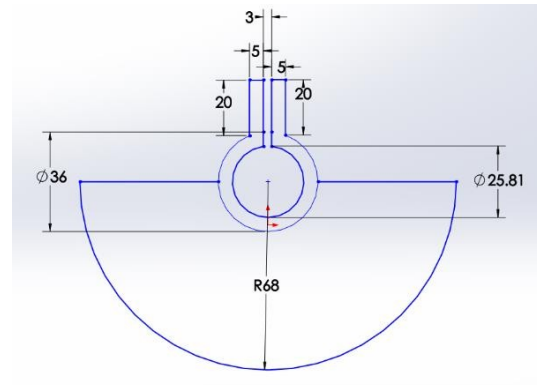
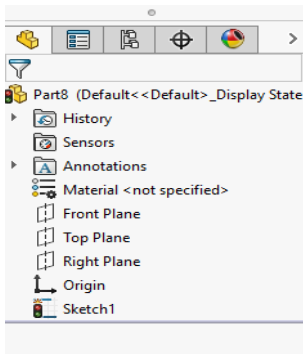
Etape N° 4 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions, il faut alors choisir l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions et  répétition circulaire.



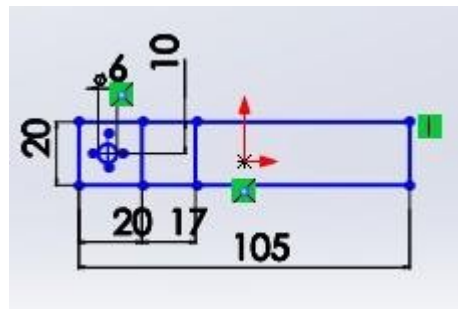
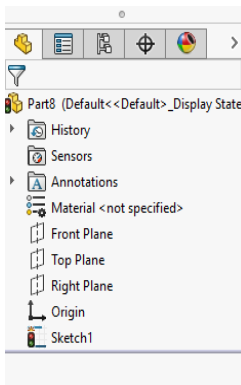
### IV.4.7 Modélisation de masse excentrique



Etape N° 1 Démarrer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

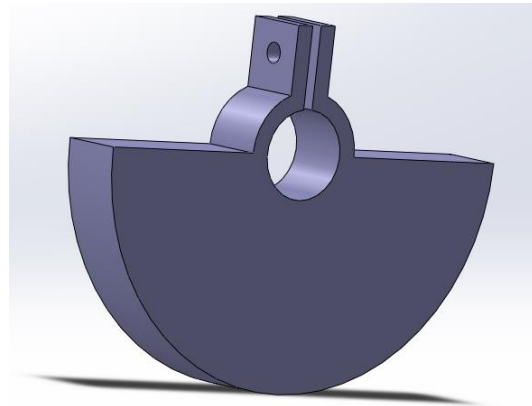
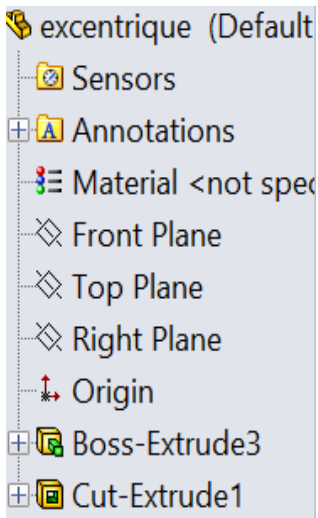
Etape N° 2 Choisir le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



Etape N°3 Sélectionner le plan de dessus, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



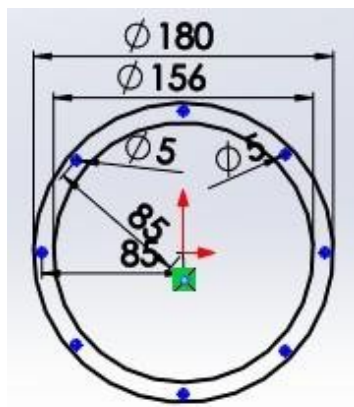
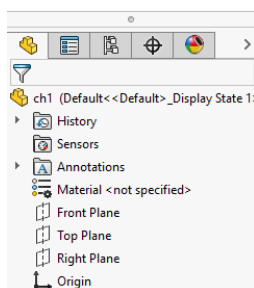
Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer un fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions. Il faut alors choisir l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions.



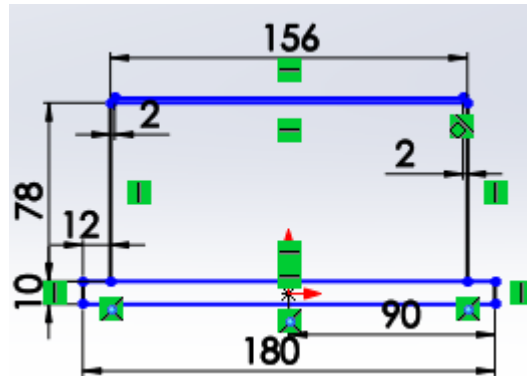
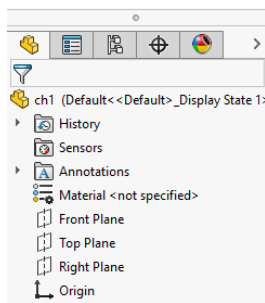
### IV.4.8 Modélisation de cage 1 vibreur



Etape N° 1 Démarrer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

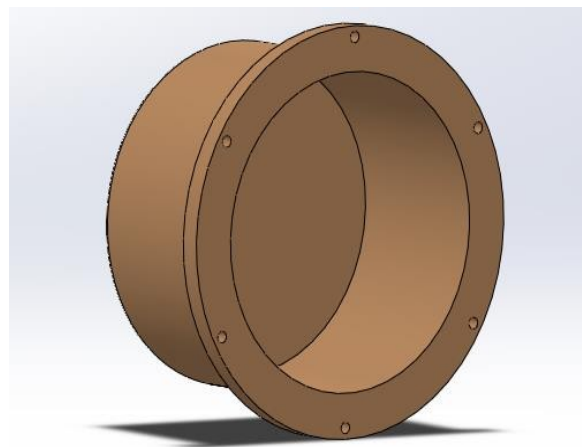
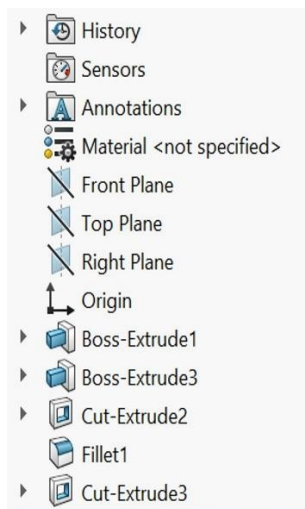
Etape N° 2 Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



Etape N° 3 Sélectionner le plan de droite, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



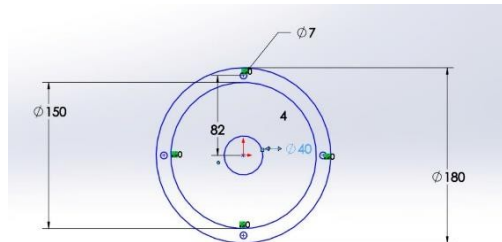
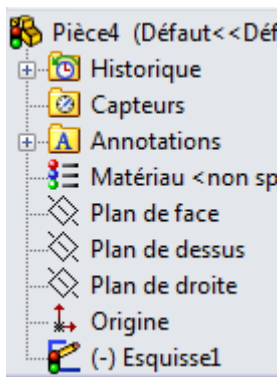
Etape N° 4 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions , il faut alors choisir l'icône  répétition circulaire .



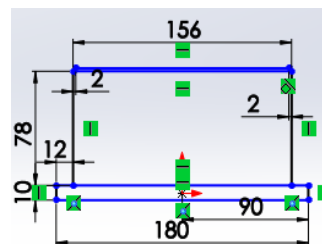
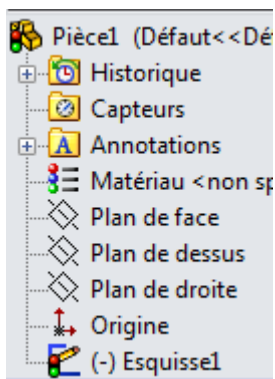
### IV.4.9 Modélisation de cage 2 vibrateur



Etape N° 1 Commencer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

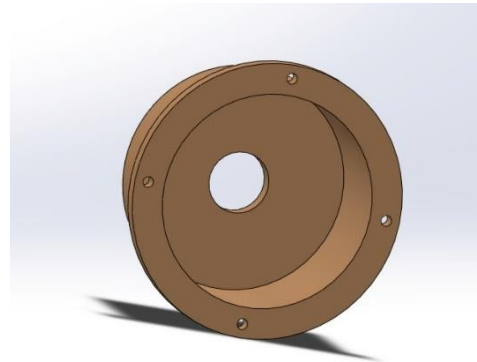
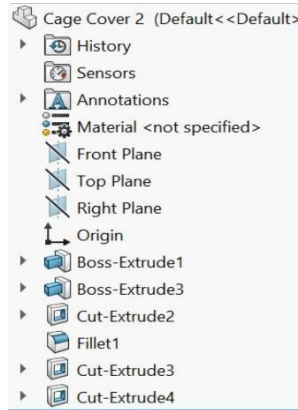
Etape N° 2 Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



Etape N°3 Sélectionner le plan de dessus, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



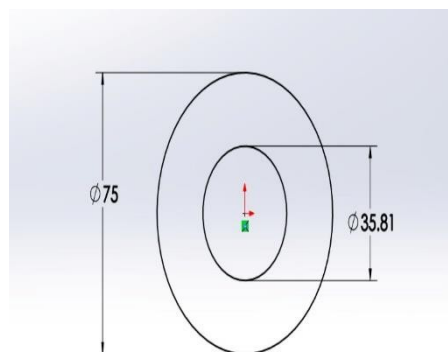
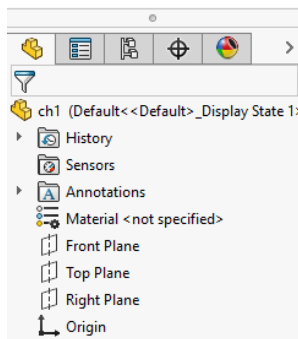
Etape N° 4 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions , il faut alors choisir l'icône  répétition circulaire .






### IV.4.10 Modélisation de stateur de vibrateur

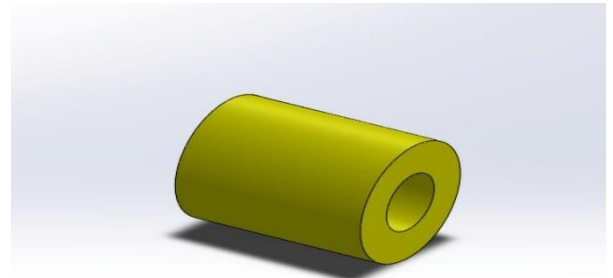
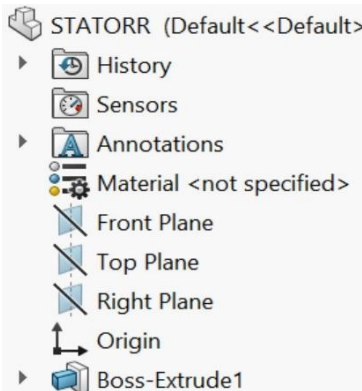
Etape N° 1 Commencer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

Etape N° 2 Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en lacotant.



Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions, il faut alors choisir

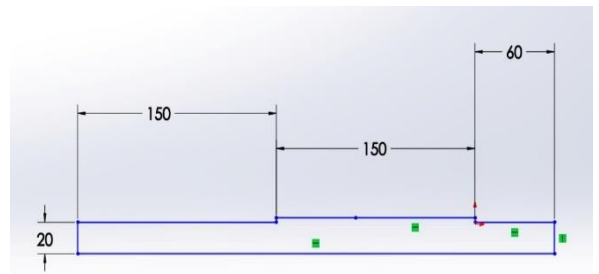
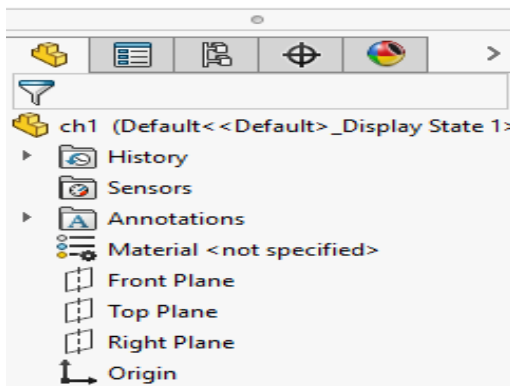
l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions et  répétition circulaire.




### IV.4.11 Modélisation de l'arber de vibrateur



Etape N° 1 Commencer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

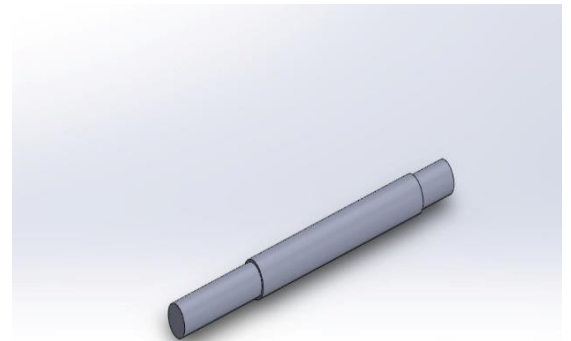
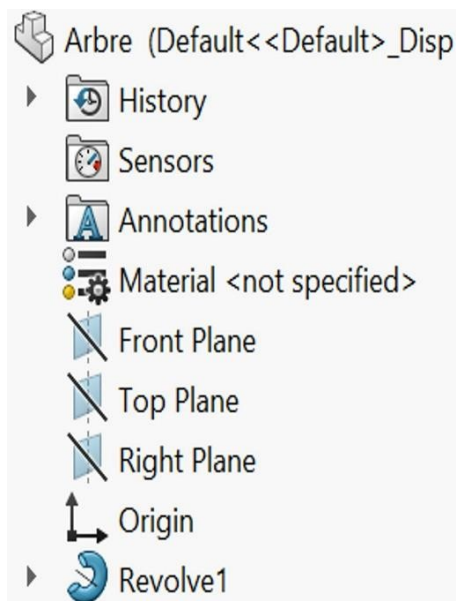
Etape N° 2 Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en lacotant.



Etape N° 4 Cliquer sur l'icône Créer une fonction 

Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions, il


faut alors choisir l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions et  répétition circulaire.

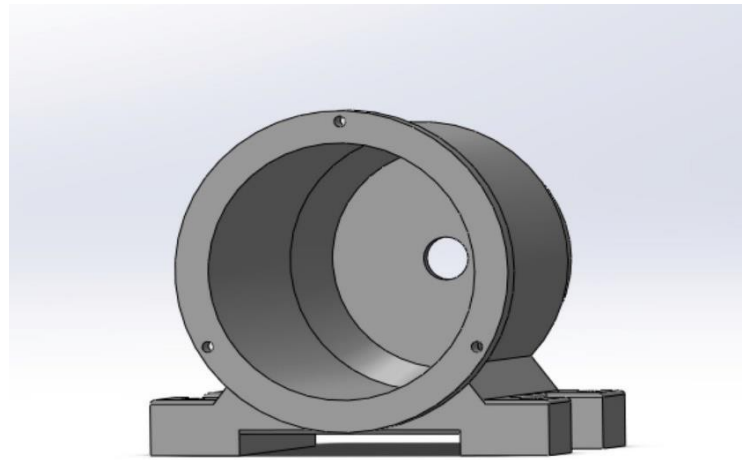
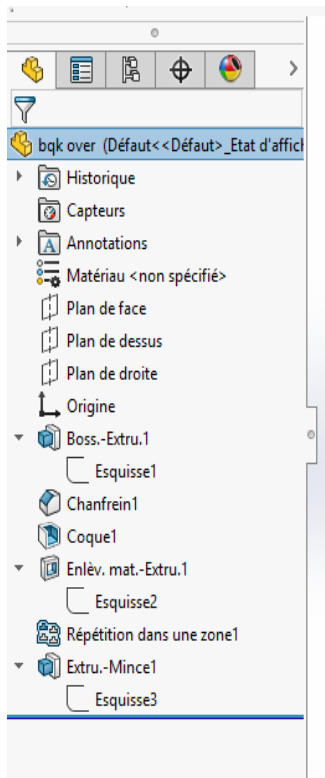


#### IV.4.12 Modélisation de moteur

Etape N° 1 Commencer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

Etape N° 2 Choisir le plan de dessus, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en lacotant.




Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions et cliquer sur icône chanfrein et icône coque.

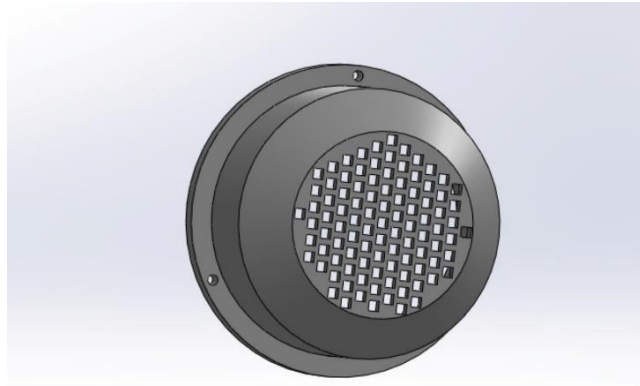
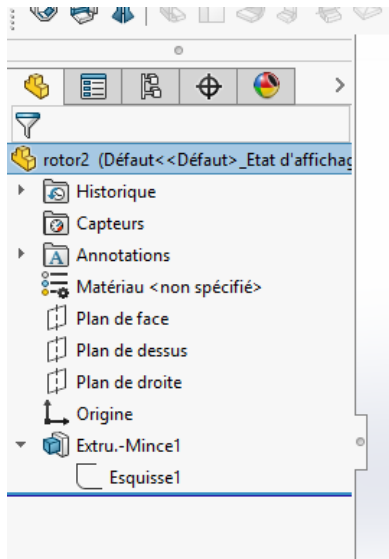


### IV.4.13 Modélisation de cage moteur

Etape N° 1 Commencer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

Etape N° 2 Choisir le plan de dessus, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la


Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions, il faut alors choisir l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions et  répétition circulaire.

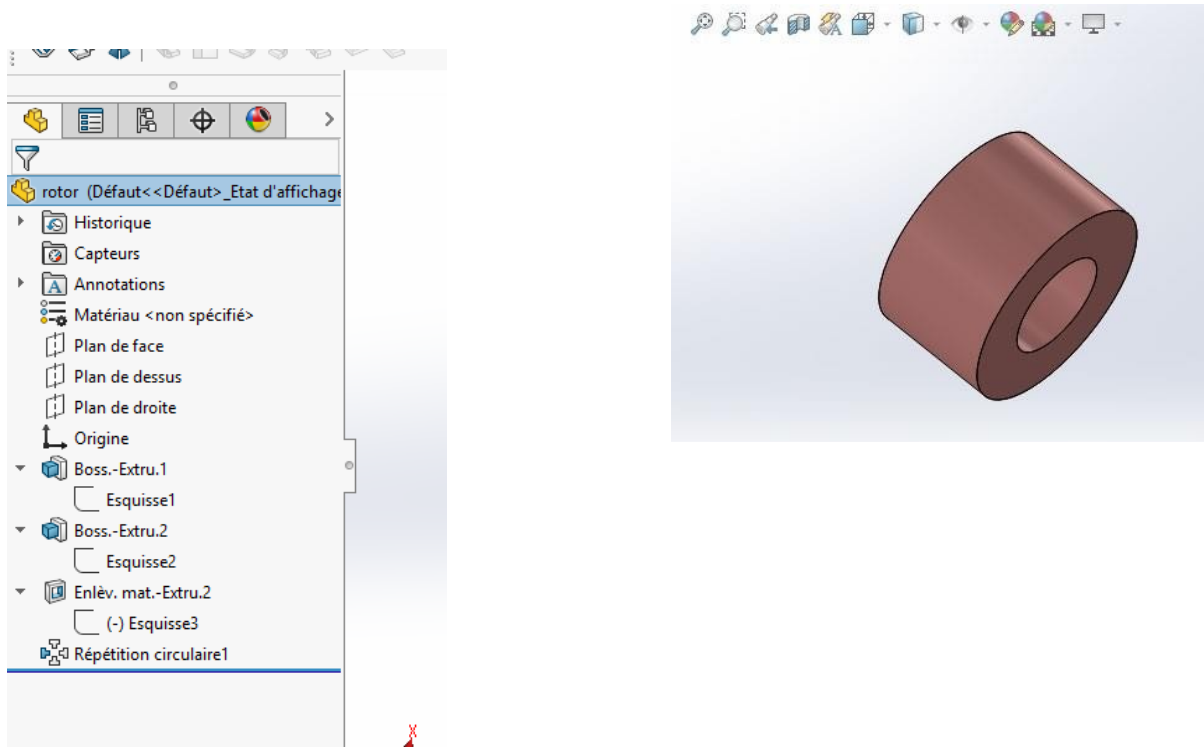


#### IV.4.14 Modélisation de la pièce rotative

Etape N° 1 Commencer SolidWorks et défaire une nouvelle pièce.

Etape N° 2 Choisir le plan de dessus, créer une esquisse dessiner la forme.


Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions.





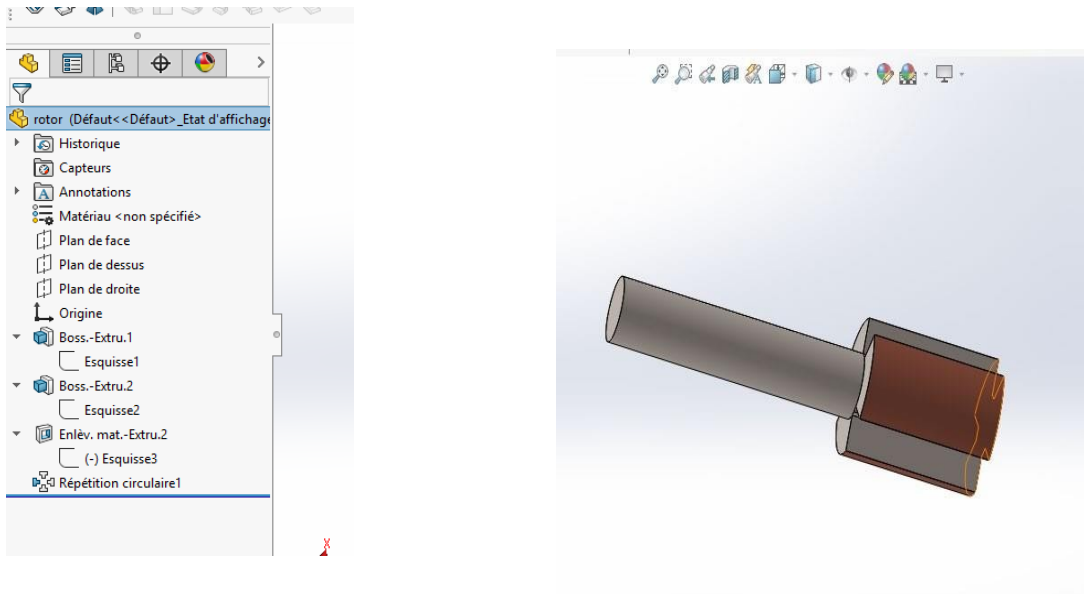
### IV.4.15 Modélisation de rotor de moteur

Etape N° 1 Commencer SolidWorks et défaire une nouvelle pièce.

Etape N° 2 Choisir le plan de dessus, créer une esquisse dessiner la forme

Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions, il faut alors

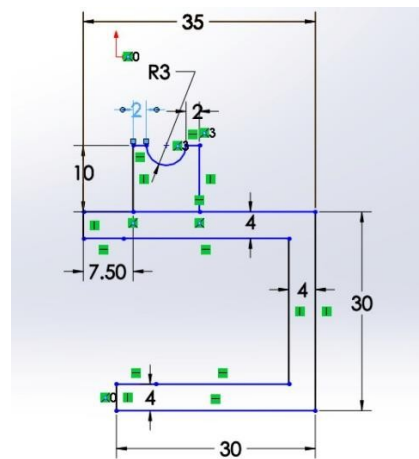
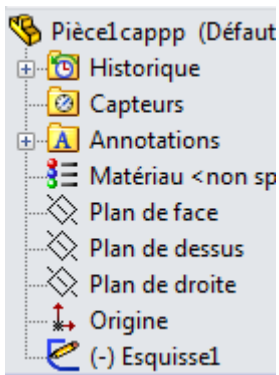
choisir l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions et  répétition circulaire.





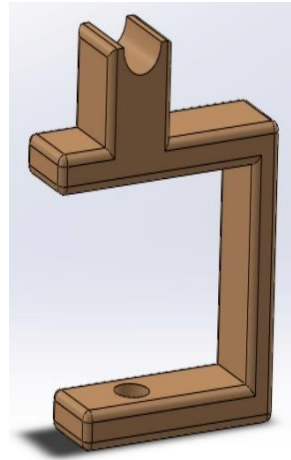
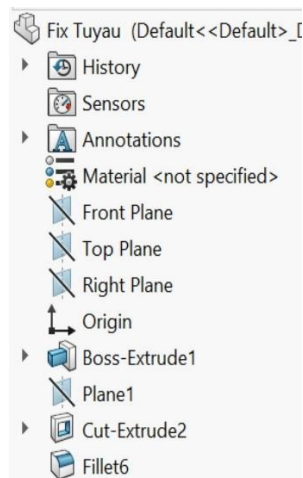
### IV.4.16 Modélisation de fixation n03

Etape N° 1 Démarrer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

Etape N° 2 Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en lacotant.



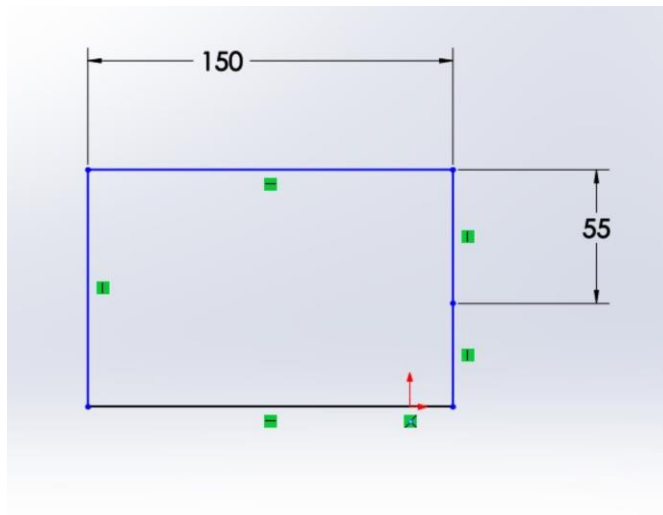
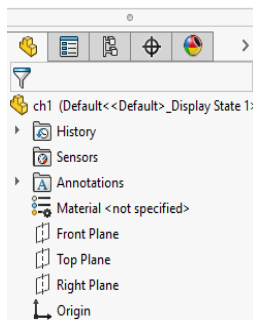
Etape N° 4 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions , il faut alors choisir l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions.



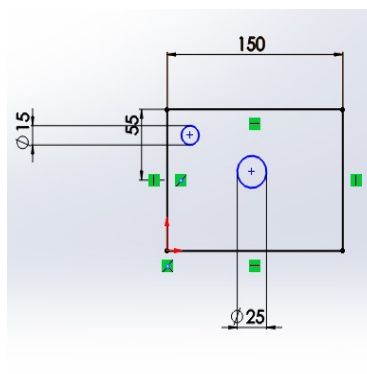
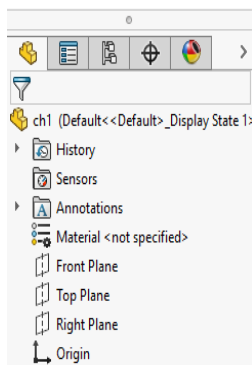
### IV.4.17 Modélisation de réservoir



Etape N° 1 Démarrer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

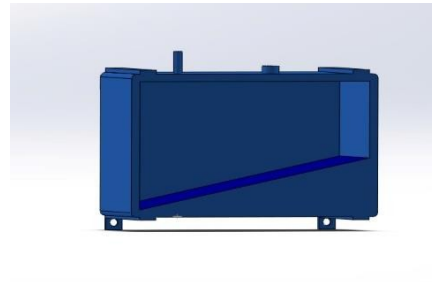
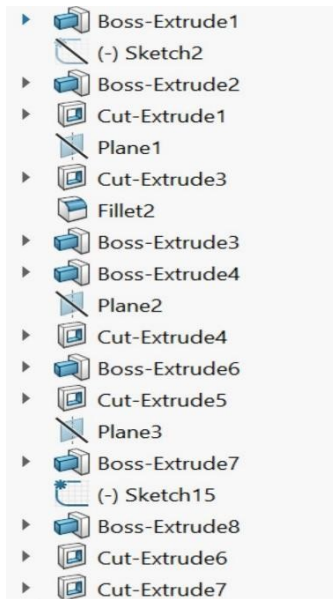
Etape N° 2 Choisir le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



Etape N°3 Sélectionner le plan de dessus, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



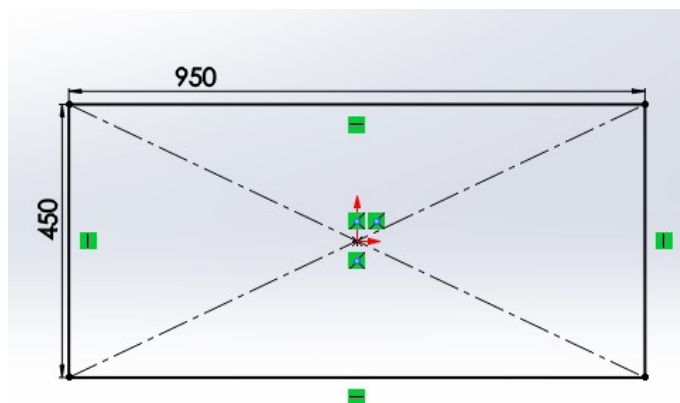
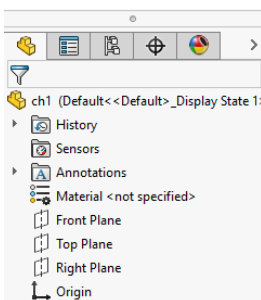
Etape N° 4 Cliquer sur l'icône  Créer un fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions , il faut alors choisir l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions.



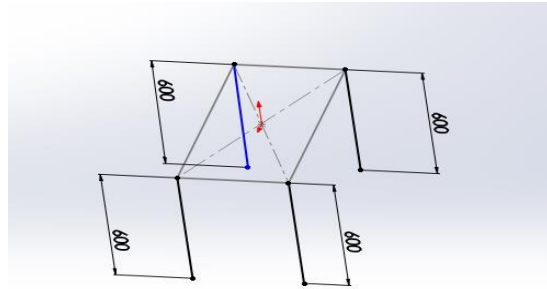
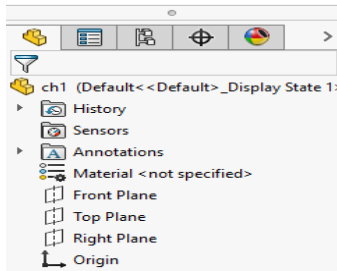
### IV.4.18 Modélisation de table




Etape N° 1 Commencer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

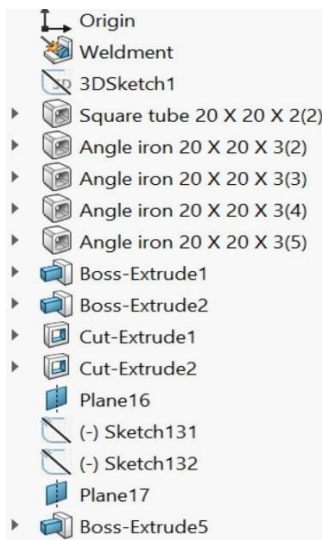
Etape N° 2 Choisir le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



Etape N° 3 Sélectionner le plan de droite, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



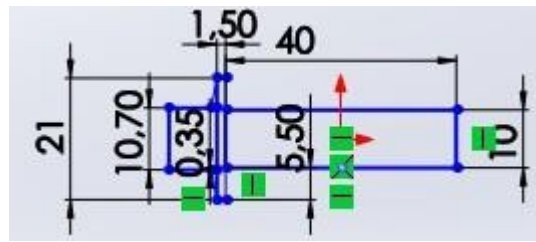
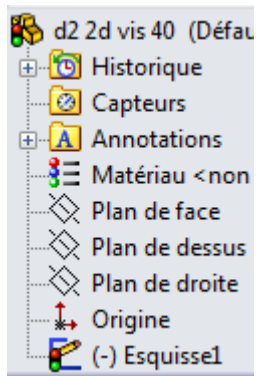
Etape N° 4 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions, il faut alors choisir l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions et  répétition circulaire.





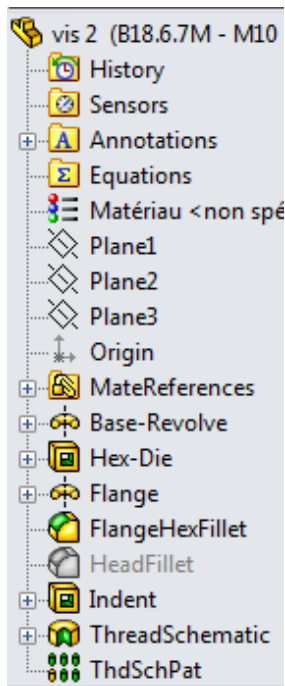
#### IV.4.19 Modélisation de Vis de fixation cage de l'élément flexible

Etape N° 1 Commencer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

Etape N° 2 Choisir le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



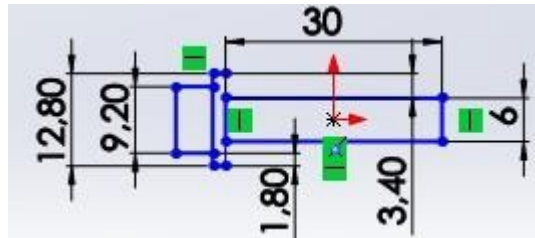
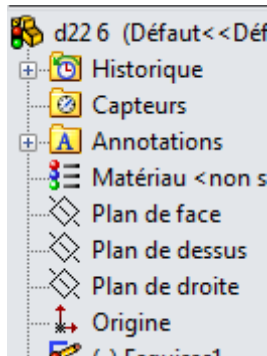
Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer un fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions , il faut alors choisir l'icône  bossage avec révolution .






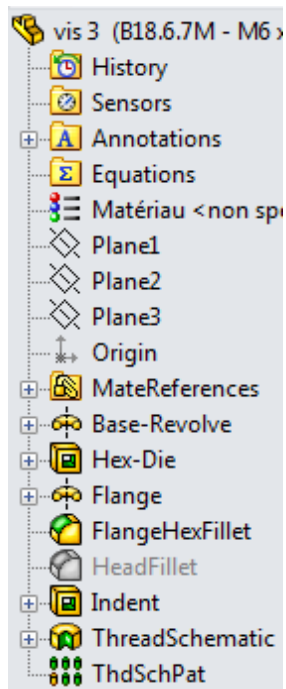
### IV.4.20 Modélisation de Vis de fixation la masse excentrique

Etape N° 1 Démarrer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

Etape N° 2 Choisir le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



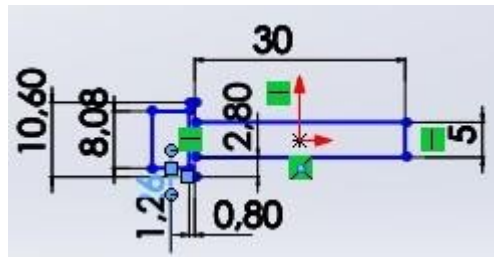
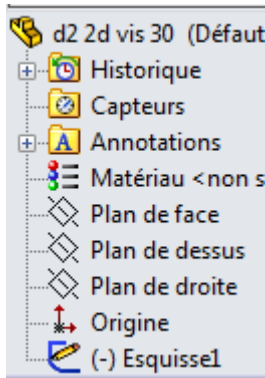
Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer un fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions , il faut alors choisir l'icône  bossage avec révolution et l'icône  congé.





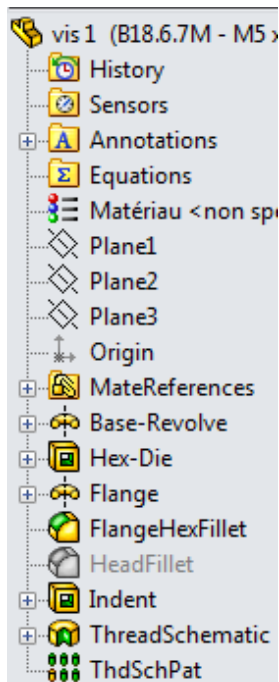
### IV.4.21 Modélisation de Vis de fixation cage vibrateur

Etape N° 1 Démarrer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

Etape N° 2 Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



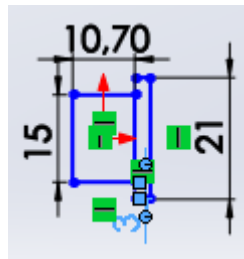
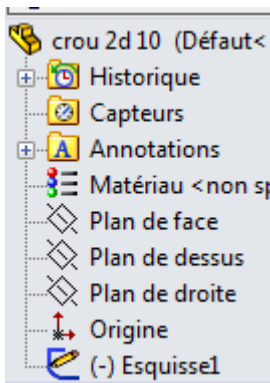
Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer un fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions , il faut alors choisir l'icône  bossage avec révolution .





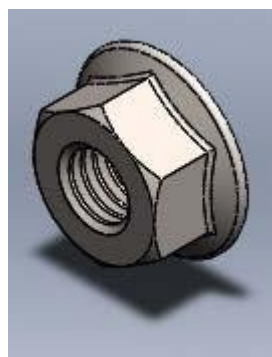
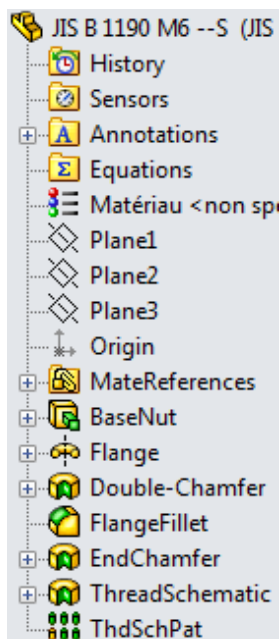
### IV.4.22 Modélisation de Crous de fixation cage de l'élément flexible

Etape N° 1 Commencer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

Etape N° 2 Choisir le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



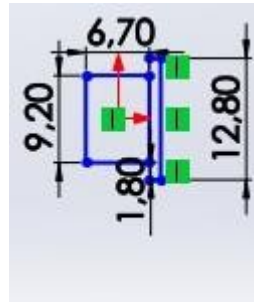
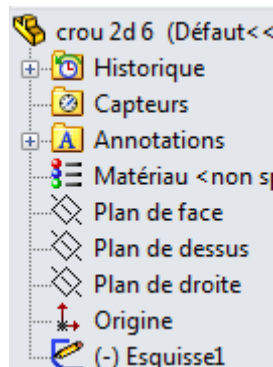
Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer un fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions , il faut alors choisir l'icône  Hélice et Spirale.





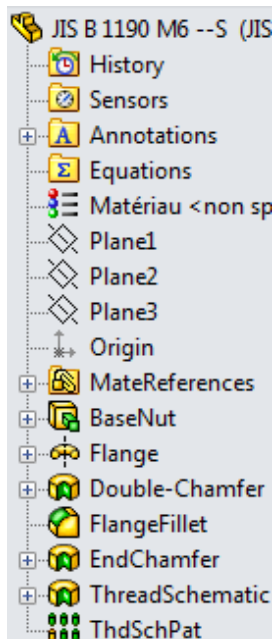
### IV.4.23 Modélisation de Crous de fixation la masse excentrique

Etape N° 1 Démarrer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

Etape N° 2 Choisir le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



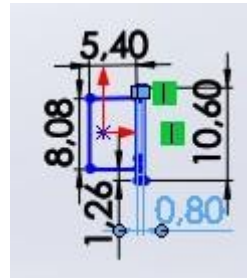
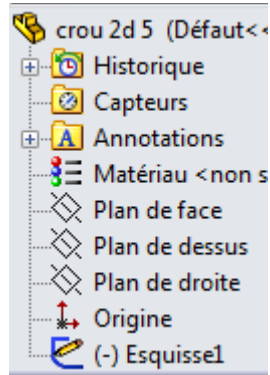
Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer un fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions , il faut alors choisir l'icône  congé.





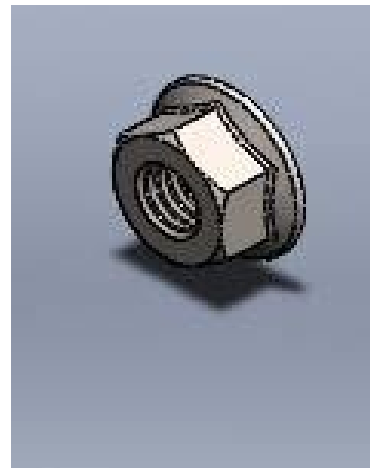
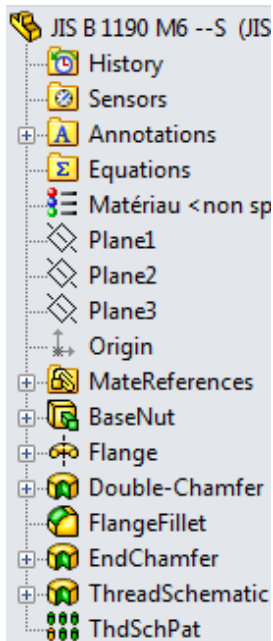
### IV.4.24 Modélisation de Crous de fixation cage vibrateur

Etape N° 1 Démarrer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.

Etape N° 2 Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en lacotant.



Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer un fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions , il faut alors choisir l'icône  Hélice et Spirale.



## **Chapitre 5**

# **L'assemblage des pièces de machine vibratoire**

### IV.3 Introduction

Après avoir conçu toutes les pièces de la machine vibratoire avec une chambre circulaire dont l'illustration a été faite au chapitre iv, ce chapitre va être consacré à l'assemblage et regroupement de toutes ces pièces par le logiciel SolidWorks 2015 selon deux méthodes : par les contraintes standards et le complément SolidWorks Motion.

### IV.4 Assemblage

#### IV.4.1 Assemblage avec les contraintes

Les contraintes sont des fonctions qui donnent une relation géométrique (coïncidence, tangence, coaxiale...etc.) Entre deux pièces.

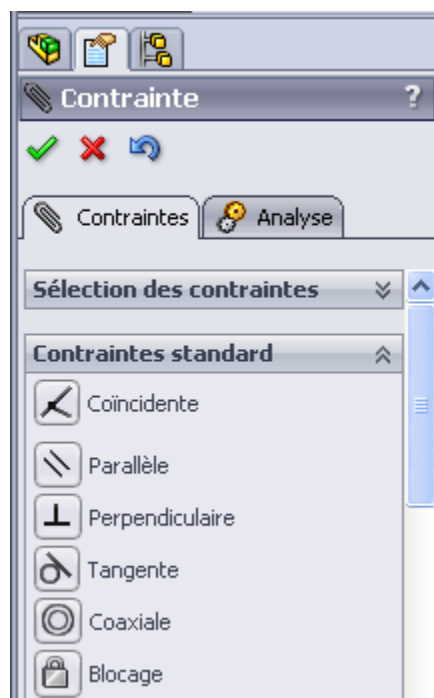


Fig. V.1 Liste de la contrainte standard

## IV.4.2 Les étapes d'assemblage

On ouvre l'outil SolidWorks nouveau assemblage.

Dans l'assemblage des pièces de la machine vibratoire avec une forme circulaire, nous remarquons deux fonctions séparées : la première c'est la transformation du mouvement de rotation des charges excentriques transmises du moteur électrique en un mouvement de rotation de la chambre de travail qui permet d'avancer l'assemblage dans le sens formé en spirale, et la deuxième est la charge et la décharge de l'ensemble de la chambre de travail. Donc on a deux assemblages dont les mouvements sont indépendants l'un de l'autre avant d'aboutir à l'assemblage final.

## IV.4.3 Premier assemblage

Dans cet assemblage nous avons quatre sous assemblages :

### V.3.1 Sous assemblage 1 :

La chambre de travail + La couverture

Étape N° 1

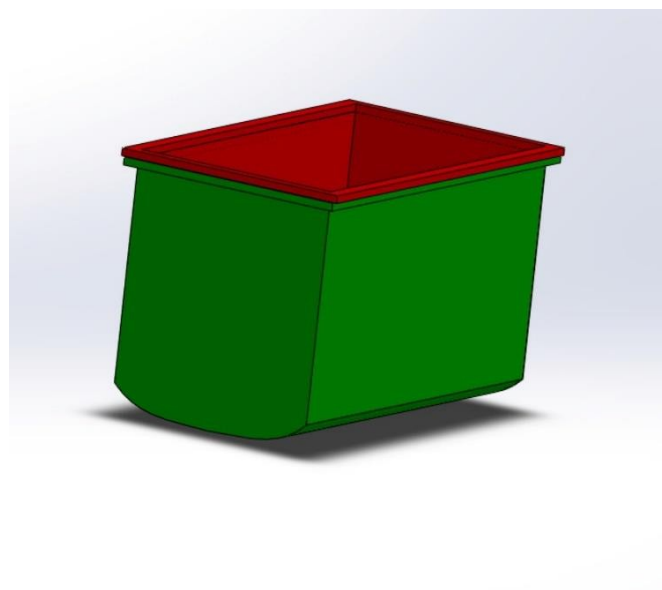
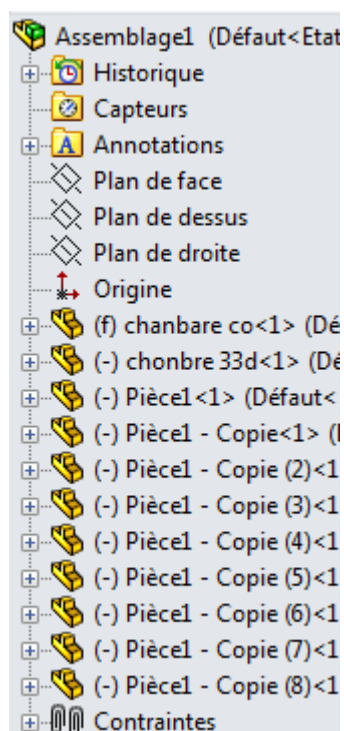


Fig. V.2 Les composantes du sous assemblage 1 dans une seule zone graphique

Étape N° 2

L'image finale de l'assemblage de La chambre de travail + La couverture +  
l'élément flexible n02 et n03

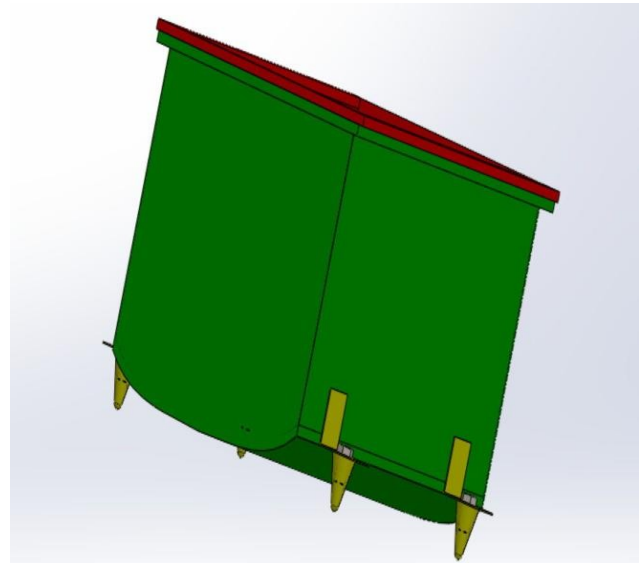
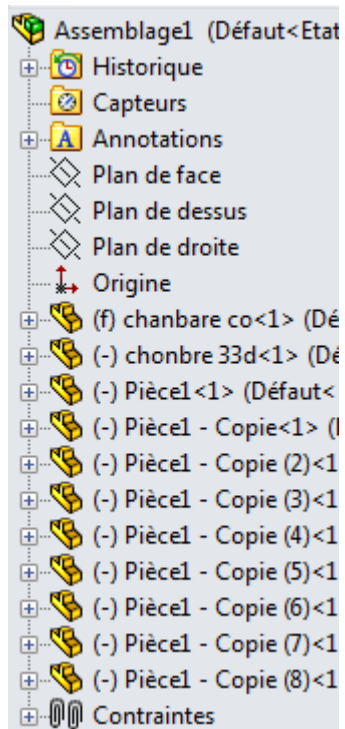


Fig. V.3 Les composantes du sous assemblage 1 dans une seule zone graphique

### V.3.2 Sous assemblage 2

Le vibreur + la masse excentrique + la cage du vibreur+ le stateur Moteur

#### Étape N°1

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>↗ Coincident36 (Cage 2.5&lt;4&gt;),hex screw</li> <li>⊙ Concentric38 (Cage 2.5&lt;4&gt;),hex screw</li> <li>↗ Coincident37 (Cage 2.5&lt;4&gt;),hex screw</li> <li>⊙ Concentric39 (Cage 2.5&lt;4&gt;),hex screw</li> <li>↗ Coincident38 (Cage 2.5&lt;4&gt;),hex screw</li> <li>⊙ Concentric40 (Cage 2.5&lt;4&gt;),hex screw</li> <li>↗ Coincident39 (Cage 2.5&lt;4&gt;),hex screw</li> <li>⊙ Concentric41 (Cage Cover 2&lt;2&gt;),hexal</li> <li>↗ Coincident40 (Cage Cover 2&lt;2&gt;),hexal</li> <li>⊙ Concentric42 (Cage Cover 2&lt;2&gt;),hexal</li> <li>↗ Coincident41 (Cage Cover 2&lt;2&gt;),hexal</li> <li>⊙ Concentric43 (Cage Cover 2&lt;2&gt;),hexal</li> <li>↗ Coincident42 (Cage Cover 2&lt;2&gt;),hexal</li> <li>⊙ Concentric44 (Cage Cover 2&lt;2&gt;),hexal</li> <li>↗ Coincident43 (Cage Cover 2&lt;2&gt;),hexal</li> <li>⊙ Concentric45 (Cage 22&lt;2&gt;),hexalobul</li> <li>↗ Coincident44 (Cage 22&lt;2&gt;),hexalobul</li> <li>⊙ Concentric46 (Cage 22&lt;2&gt;),hexalobul</li> <li>↗ Coincident45 (Cage 22&lt;2&gt;),hexalobul</li> <li>⊙ Concentric47 (Cage 22&lt;2&gt;),hexalobul</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>↗ Coincident22 (MassEx&lt;3&gt;),hexalobul</li> <li>⊙ Concentric23 (MassEx&lt;2&gt;),hexalobul</li> <li>↗ Coincident23 (MassEx&lt;2&gt;),hexalobul</li> <li>⊙ Concentric24 (MassEx&lt;4&gt;),hexalobul</li> <li>↗ Coincident24 (MassEx&lt;4&gt;),hexalobul</li> <li>⊙ Concentric25 (MassEx&lt;1&gt;),hexalobul</li> <li>↗ Coincident25 (MassEx&lt;1&gt;),hexalobul</li> <li>⊙ Concentric29 (MassEx&lt;3&gt;),hex flange</li> <li>↗ Coincident28 (MassEx&lt;3&gt;),hex flange</li> <li>⊙ Concentric30 (hexalobular socket chee</li> <li>↗ Coincident29 (MassEx&lt;2&gt;),hex flange</li> <li>⊙ Concentric31 (hexalobular socket chee</li> <li>↗ Coincident30 (MassEx&lt;4&gt;),hex flange</li> <li>⊙ Concentric32 (hexalobular socket chee</li> <li>↗ Coincident31 (MassEx&lt;1&gt;),hex flange</li> <li>⊙ Concentric33 (Cage 2.5&lt;3&gt;),hex screw</li> <li>↗ Coincident32 (Cage 2.5&lt;3&gt;),hex screw</li> <li>⊙ Concentric34 (Cage 2.5&lt;3&gt;),hex screw</li> <li>↗ Coincident33 (Cage 2.5&lt;3&gt;),hex screw</li> <li>⊙ Concentric35 (Cage 2.5&lt;3&gt;),hex screw</li> </ul> |
|---|--|

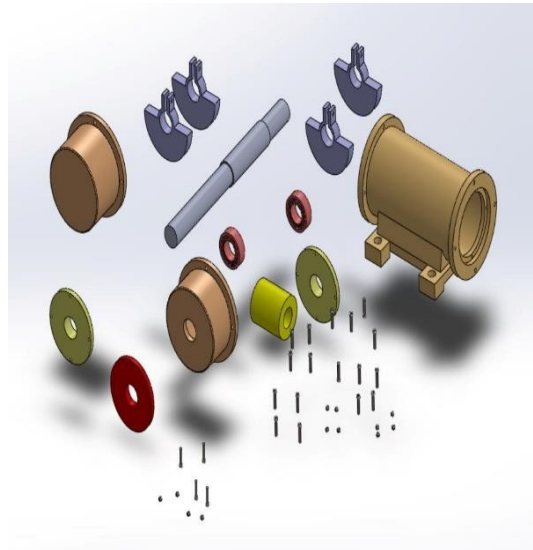


Fig. V.4 Les cotonneuses du sous assemblage 2 dans une seule zone graphique

Étape N°2

Voilà l'assemblage final de tous les éléments

↗	Coincident22 (MassEx<3>,hexalobular	↗	Coincident46 (Cage 22<2>,hexalobular
⊙	Concentric23 (MassEx<2>,hexalobular	⊙	Concentric48 (Cage 22<2>,hexalobular
↗	Coincident23 (MassEx<2>,hexalobular	↗	Coincident47 (Cage 22<2>,hexalobular
⊙	Concentric24 (MassEx<4>,hexalobular	⊙	Concentric49 (Corp<1>,hex flange nu
↗	Coincident24 (MassEx<4>,hexalobular	↗	Coincident48 (Corp<1>,hex flange nu
⊙	Concentric25 (MassEx<1>,hexalobular	⊙	Concentric50 (hexalobular socket chee
↗	Coincident25 (MassEx<1>,hexalobular	↗	Coincident49 (Corp<1>,hex flange nu
⊙	Concentric29 (MassEx<3>,hex flange	⊙	Concentric52 (hexalobular socket chee
↗	Coincident28 (MassEx<3>,hex flange	↗	Coincident50 (Corp<1>,hex flange nu
⊙	Concentric30 (hexalobular socket chee	⊙	Concentric53 (hexalobular socket chee
↗	Coincident29 (MassEx<2>,hex flange	↗	Coincident51 (Corp<1>,hex flange nu
⊙	Concentric31 (hexalobular socket chee	⊙	Concentric54 (Corp<1>,hex flange nu
↗	Coincident30 (MassEx<4>,hex flange	↗	Coincident52 (Corp<1>,hex flange nu
⊙	Concentric32 (hexalobular socket chee	⊙	Concentric55 (Corp<1>,hex flange nu
↗	Coincident31 (MassEx<1>,hex flange	↗	Coincident53 (Corp<1>,hex flange nu
⊙	Concentric33 (Cage 2.5<3>,hex screw	⊙	Concentric56 (hexalobular socket chee
↗	Coincident32 (Cage 2.5<3>,hex screw		
⊙	Concentric34 (Cage 2.5<3>,hex screw		
↗	Coincident33 (Cage 2.5<3>,hex screw		
⊙	Concentric35 (Cage 2.5<3>,hex screw		

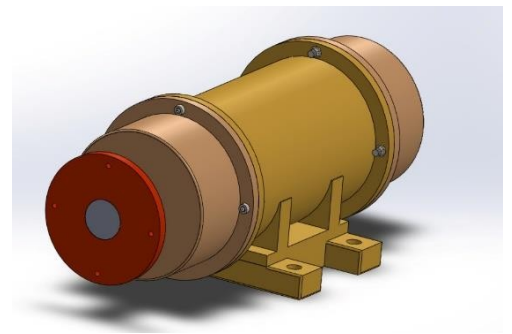
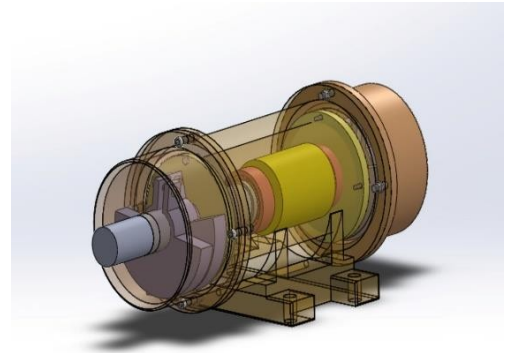


Fig. V . 5 Les cotonneuses du sous assemblage 2 dans une seule zone graphique

### V.3.3 Sous assemblage 3

L'arber + le stateur + la cage du moteur + chambre de moteur

#### Étape N°1

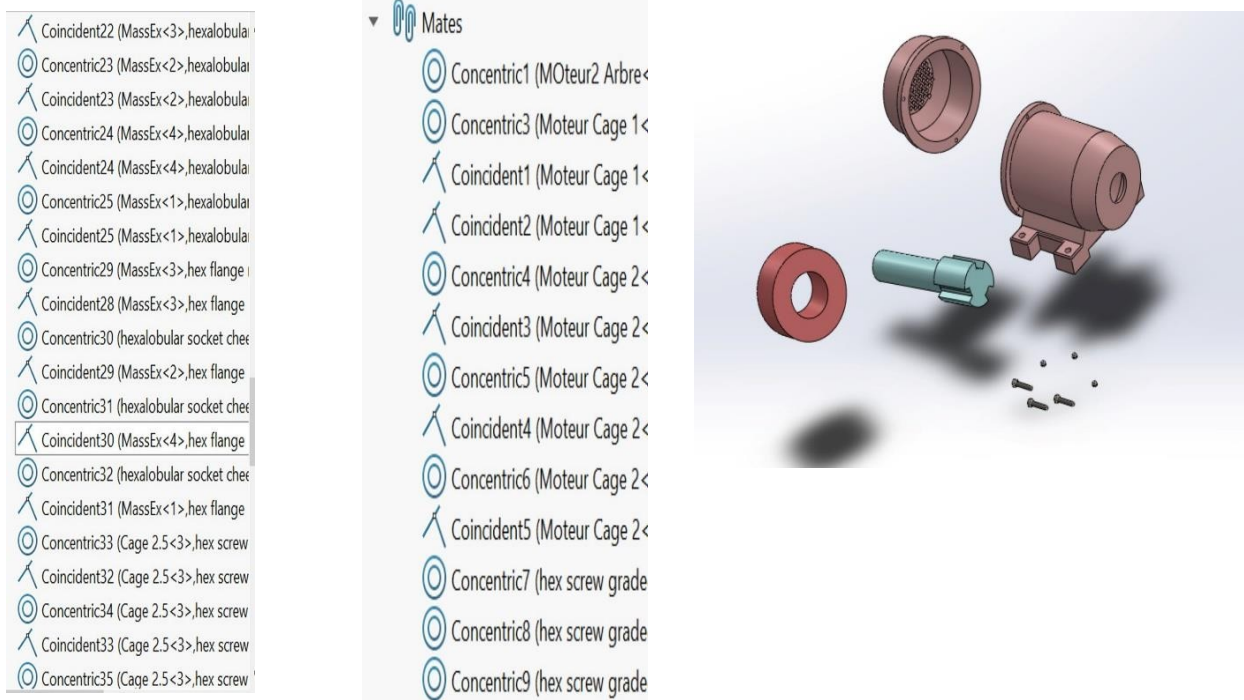


Fig. V.6 Les composantes du sous assemblage 3 dans une seule zone graphique

Étape N°2

Voilà l'assemblage finale de tous les éléments

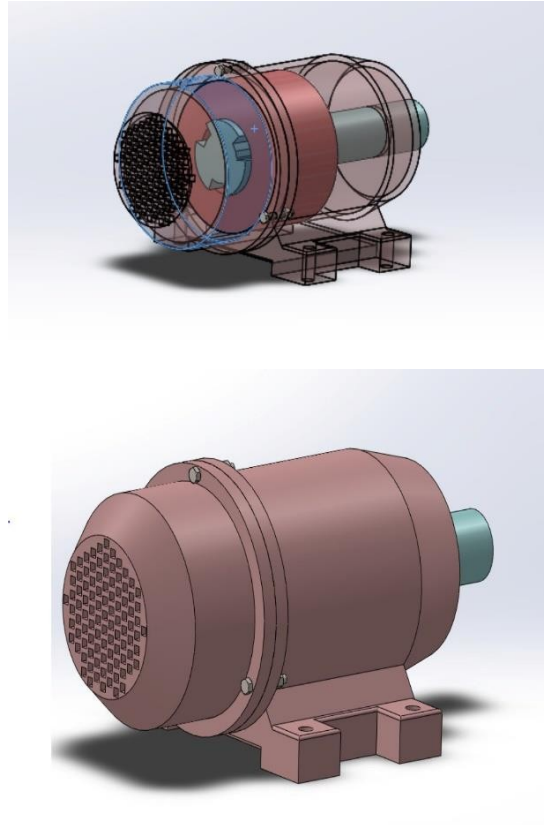
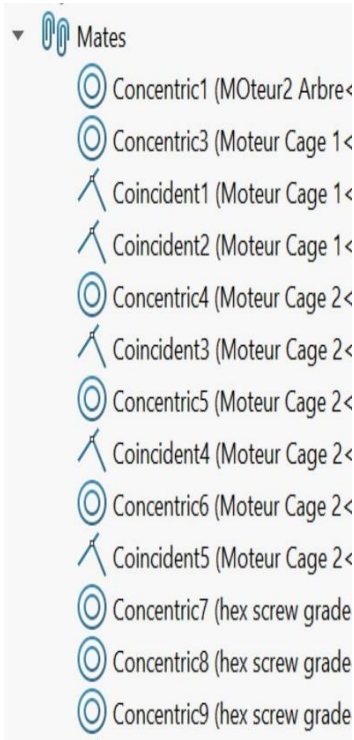


Fig. V.7 Les composantes du sous assemblage 3 dans une seule zone graphique

### V.3.4 Sous assemblage 4

Assemblage 2 + le vibreur + la table+

le reservoir + le moteur + pompe d'eau .

#### Étape N°1

- ↗ Coincident22 (MassEx<3>,hexalobular
- ◎ Concentric23 (MassEx<2>,hexalobular
- ↗ Coincident23 (MassEx<2>,hexalobular
- ◎ Concentric24 (MassEx<4>,hexalobular
- ↗ Coincident24 (MassEx<4>,hexalobular
- ◎ Concentric25 (MassEx<1>,hexalobular
- ↗ Coincident25 (MassEx<1>,hexalobular
- ◎ Concentric29 (MassEx<3>,hex flange
- ↗ Coincident28 (MassEx<3>,hex flange
- ◎ Concentric30 (hexalobular socket chee
- ↗ Coincident29 (MassEx<2>,hex flange
- ◎ Concentric31 (hexalobular socket chee
- ↗ Coincident30 (MassEx<4>,hex flange
- ◎ Concentric32 (hexalobular socket chee
- ↗ Coincident31 (MassEx<1>,hex flange
- ◎ Concentric33 (Cage 2.5<3>,hex screw
- ↗ Coincident32 (Cage 2.5<3>,hex screw
- ◎ Concentric34 (Cage 2.5<3>,hex screw
- ↗ Coincident33 (Cage 2.5<3>,hex screw
- ◎ Concentric35 (Cage 2.5<3>,hex screw

- ↗ Coincident22 (MassEx<3>,hexalobular
- ◎ Concentric23 (MassEx<2>,hexalobular
- ↗ Coincident23 (MassEx<2>,hexalobular
- ◎ Concentric24 (MassEx<4>,hexalobular
- ↗ Coincident24 (MassEx<4>,hexalobular
- ◎ Concentric25 (MassEx<1>,hexalobular
- ↗ Coincident25 (MassEx<1>,hexalobular
- ◎ Concentric29 (MassEx<3>,hex flange
- ↗ Coincident28 (MassEx<3>,hex flange
- ◎ Concentric30 (hexalobular socket chee
- ↗ Coincident29 (MassEx<2>,hex flange
- ◎ Concentric31 (hexalobular socket chee
- ↗ Coincident30 (MassEx<4>,hex flange
- ◎ Concentric32 (hexalobular socket chee
- ↗ Coincident31 (MassEx<1>,hex flange
- ◎ Concentric33 (Cage 2.5<3>,hex screw
- ↗ Coincident32 (Cage 2.5<3>,hex screw
- ◎ Concentric34 (Cage 2.5<3>,hex screw
- ↗ Coincident33 (Cage 2.5<3>,hex screw
- ◎ Concentric35 (Cage 2.5<3>,hex screw

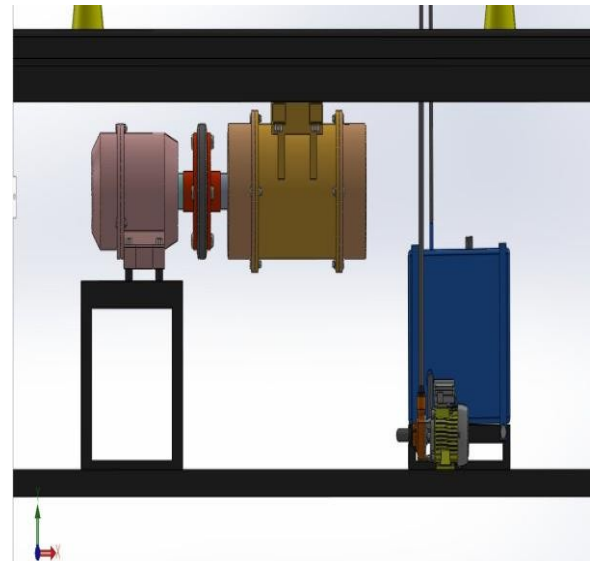
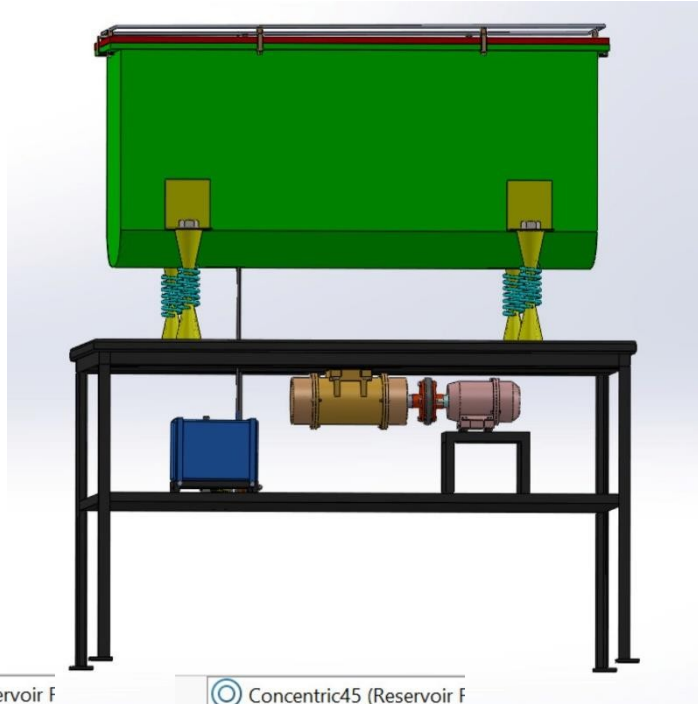
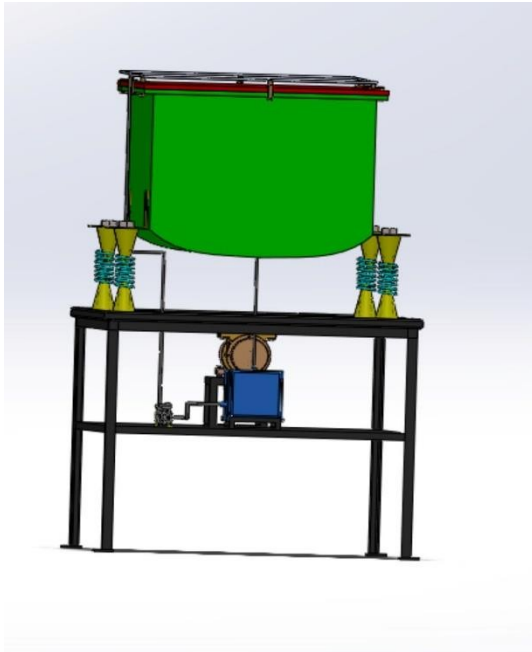


Fig. V.8 Les cotonneuses du sous assemblage 3.1 dans une seule zone graphique

Étape N°2

Alors voici après l'assemblage la pièce finale



- ⊙ Concentric61 (pompe eau)
- ↗ Coincident69 (pompe eau)
- ↗ Coincident73 (chambre<1
- ↖ Parallel2 (chambre<1>,Fix
- ↗ Coincident75 (chambre<1
- ↖ Parallel3 (chambre<1>,Fix
- ↗ Coincident77 (chambre<1
- ↖ Parallel4 (chambre<1>,Fix
- ↗ Coincident79 (chambre<1
- ↖ Parallel5 (chambre<1>,Fix
- ↗ Coincident81 (chambre<1
- ↖ Parallel6 (chambre<1>,Fix
- ↗ Coincident83 (chambre<1
- ↖ Parallel7 (chambre<1>,Fix
- ⊙ Concentric63 (Fix Tuyau<2
- ↗ Coincident85 (Fix Tuyau<2
- ⊙ Concentric64 (Fix Tuyau<1
- ↗ Coincident86 (Fix Tuyau<1
- ⊙ Concentric65 (Fix Tuyau<7
- ↗ Coincident87 (Fix Tuyau<7

- ⊙ Concentric45 (Reservoir F
- ↗ Coincident38 (Reservoir f
- ⊙ Concentric46 (Table Final
- ⊙ Concentric47 (Table Final
- ↗ Coincident41 (Table Final
- ↗ Coincident46 (Table Final
- ↗ Coincident47 (Table Final
- ↗ Coincident48 (Table Final
- ↗ Coincident49 (Table Final
- ↗ Coincident50 (Resort<1>
- ↗ Coincident51 (Resort<1>
- ↗ Coincident52 (Resort<2>
- ↗ Coincident53 (Resort<2>
- ↗ Coincident54 (sup<3>,Re
- ↗ Coincident55 (sup<3>,Re
- ↗ Coincident56 (sup<4>,Re
- ↗ Coincident57 (sup<4>,Re
- ⊙ Concentric49 (sup<1>,ch
- ⊙ Concentric51 (chambre<
- ↗ Coincident61 (chambre<

- ⊙ Concentric45 (Reservoir F
- ↗ Coincident38 (Reservoir f
- ⊙ Concentric46 (Table Final
- ⊙ Concentric47 (Table Final
- ↗ Coincident41 (Table Final
- ↗ Coincident46 (Table Final
- ↗ Coincident47 (Table Final
- ↗ Coincident48 (Table Final
- ↗ Coincident49 (Table Final
- ↗ Coincident50 (Resort<1>
- ↗ Coincident51 (Resort<1>
- ↗ Coincident52 (Resort<2>
- ↗ Coincident53 (Resort<2>
- ↗ Coincident54 (sup<3>,Re
- ↗ Coincident55 (sup<3>,Re
- ↗ Coincident56 (sup<4>,Re
- ↗ Coincident57 (sup<4>,Re
- ⊙ Concentric49 (sup<1>,ch
- ⊙ Concentric51 (chambre<
- ↗ Coincident61 (chambre<

Fig. V.9 Les composantes du sous assemblage 3.1 dans une seule zone graphiq

## **V.4 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons fait l'assemblage des pièces de la machine vibratoire créés dans le chapitre précédent par deux méthodes : la première par des contraintes standards et la deuxième par le complément de SolidWorks qui est SolidWorks Motion, où nous avons essayé de le faire mais sans résultats, ces méthodes nous permettent de montrer les différents mouvements des assemblages (rotation et translation).

# **Conclusion générale**

### Conclusion générale

Le but de ce travail n'était pas seulement la rétro-conception de la machine vibratoire avec une chambre en forme circulaire, mais aussi la simulation et l'analyse assistée par ordinateur de l'une de ses pièces avec un logiciel de CAO.

Pour aboutir à cet objectif une série d'étape a été effectuée.

Tout d'abord une généralité sur la conception et ses types. Nous avons ensuite défini la conception assistée par ordinateur en expliquant l'intérêt de la CAO dans la production et ses applications dans la production en mécanique.

La deuxième étape a été la mesure des différentes pièces de la chambre vibratoire par les moyens de métrologie disponibles ainsi que la modélisation de chaque pièce. Par la même occasion nous avons défini la modélisation ; ainsi que l'outil de CAO avec lequel on a travaillé qui est SolidWorks 2015, en donnant ses caractéristiques et son fonctionnement. Après la modélisation de toutes les pièces, l'assemblage de ces dernières pour composer la machine vibratoire a été fait en utilisant la méthode, par contraintes pour présenter et visualiser l'ensemble de notre machine vibratoire permettant de montrer les différents mouvements des assemblages (rotation et translation).

Enfin une analyse et vérification des contraintes et des déplacements (ressort lié avec l'actionneur pneumatique et qui doit supporter la charge complète de l'ensemble se trouvant dans la chambre de travail) ont été réalisées par le complément SolidWorks.

L'assistance du logiciel "SolidWorks" nous a beaucoup aidé dans notre travail vis-à-vis de la précision de la conception des pièces et leur assemblage leur simulation virtuelle.

Ce travail ayant été réalisé par le logiciel de CAO SolidWorks, on peut proposer comme perspective qu'il soit réalisé par un autre logiciel de CAO tel que CATIA par exemple pour faire une comparaison.

### Références bibliographiques

- [1] Thomas Convard, Conception assistée par ordinateur en environnement immersif, Thèse de doctorat en Informatique, 2005
- [2] BENBOUZA, Mohamed Salah, *CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR DES CIRCUITS INTEGRES MESFET GaAs*. Doctorat thesis, Université de Batna 2. 2007
- [3] Pierre-Antoine Champin, Modéliser l'expérience pour en assister la réutilisation : de la conception assistée par ordinateur au Web sémantique, Thèse de doctorat en Sciences. Informatique, 2002.
- [4] Gérard Hégron, De la modélisation à la conception assistée par ordinateur, Annales des Ponts et Chaussées, 107-108 , pp 19-26, 2003.
- [5] Khaled Arrouk, Techniques de conception assistée par ordinateur (CAO) pour la caractérisation de l'espace de travail de robots manipulateurs parallèles, Thèse de doctorat en Informatique, 2012
- [6] Azab et El Maraghy, 2009] A. AZAB and H. EL MARAGHY, "Reconfiguring Process Plans: A New Approach to Minimize Change," Book of Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems, Springer London, pp 179-194, ISBN: 978-1-84882-066-1, 2009.
- [7] Belmokhtar, 2006] S. BELMOKHTAR, « Lignes d'usinage avec équipements standard : modélisation, configuration et optimisation », Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2006.
- [8] Arrouk K. A., Bouzgarrou B. C., Gogu G., "*Méthode CAO pour la représentation de l'espace de travail et des singularités du robot parallèle plan de type 3-RPR*", 11<sup>ème</sup> Colloque National AIP PRIMECA, Mont Dore, France, 29 mars-1er avril 2011.
- [9] Arrouk K. A., Bouzgarrou B. C., Gogu G., "*CAD Based Geometric Procedures for Workspace and Singularity Determination of the 3-RPR Parallel Manipulator*", 2012.
- [10] Gogu G, Maniu I., Lovasz E-C., Fauroux J-C., Ciupe V., Mechanisms, Mechanical Transmissions and Robotics, pp. 131-140, Trans Tech Publications, 2012, ISBN 978-3-03785-395-5.
- [11] Arsenault M., Boudreau R., "*Synthesis of Planar Parallel Mechanisms While Considering Workspace, Dexterity, Stiffness and Singularity Avoidance*", ASME Journal of Mechanical Design, Vol.128, No.1, Pages: 69–78, 2006.
- [12] Bai S., Caro S., "*Design and Analysis of a 3-PPR Planar Robot with U\_shape Base*", IEEE, Proceedings of the 14th International Conference on Advanced Robotics, Munich, Germany, 2009.
- [13] Barbero B. R., Ureta E. S., "*Comparative study of different digitization techniques and their accuracy*", Journal of Computer-Aided Design, Vol.43, Pages: 188-206, 2011.
- [14] Baron L., "*Workspace-Based Design of Parallel Manipulators of Star Topology with a Genetic Algorithm*", Proceedings of DETC'01 ASME Design Engineering Technical Conferences, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 9-12 September 2001.
- [15] Achkasov V. A., An intensification of vibro-abrasive processing due to power condition

## Références bibliographiques

- optimization of abrasive tool, thesis, Technical Sciences: 05.02.07. Stary Oskol, Rusia, 2013, 175 pp.
- [16] Dimov Y. V., Lithuanian G.V., To a question of interaction of granules with the processed surface at volume processing, the collection of scientific articles, Ways of an intensification of productions when machining, Tomsk, Russia, TPI, 1979, 135-139 pp.
- [17] Tamarkin M.A., study and development of methodological bases for the calculation of optimal process parameters of vibration processing, Dis. 05.02.08, Rostov N/D Russia, 1982, 165 pp.
- [18] Pandiyana Vigneashwara, Castagneb Sylvie, Subbiahc S., High Frequency and Amplitude Effects in Vibratory Media Finishing, 44th North American Manufacturing Research Conference, NAMRC 44, June 27- July 1, 2016, Blacksburg, Virginia, United States, Procedia Manufacturing, Volume 5, 2016, 546–557 pp.
- [19] Menel D., Choice of a tribofinishing abrasive, Surfaces, N 245, 1994, 22-24 pp.
- [20] David A. Davidson, Mass finishing processes, Metal Finishing, Volume 105, Issue 10, 2007, 72-83 pp.
- [21] Tony van Gendta, Dan O'Connora, Process control and automated mass finishing solutions, Metal Finishing, Vol. 98, Issue 7, 2000, 12–16 pp.
- [22] Lanets AS high-performance interresonance vibrating machines with electromagnetic drive: monograph. - Lviv Polytechnic National University, Ukraine, 2008. 30 pp.
- [23] Newton W., The London Journal of Arts, Sciences and Manufactures, and Repertory of Patent Inventions - London, 1849. - Vol. XXXIV.
- [24] Brant William, corporation Lord Chencial, Apparatus for precision finishing of parts and objects by controlled vibration, US Patent № 2997813, 1961.
- [25] Brant William, corporation Lord Chencial, Maschine zum Scheuern und Polieren von Gegenstaenden, DE Patent № 1137975, 1961.
- [26] Pruller H., Water recirculation in vibratory finishing, Galvanotechnik A. 1998, vol. 89, n° 6, 1844-1851 pp.
- [27] Gillespie L. K., Leaders Who Have Made a Difference in Deburring, Proceedings of the 7th International Deburring and Surface Finishing Conference, Universty of California, Berkeley, California, June 9, 2004. 1-16 pp.
- [28] Hashimoto Fukuo, Rahul G. Chaudhari, Shreyes N. Melkote, Characteristics and Performance of Surfaces Created by Various Finishing Methods, 3rd CIRP Conference on Surface Integrity, Procedia CIRP, Volume 45, 2016, 1–6 pp.
- [29] Mickelson Harold, Mass finishing chemical compounds for the metal finishing industry, , SME Technical Paper (Series) MR A. 1979, n° 79-746
- [30] Kenton A.F., Wet or dry finishing systems? Metal Finishing, Volume 99, Issue 7, 2001, 14-16 pp.
- [31] [78] Babichev A. P., Basis of vibrating technology. Manual Part 2. publisher: Don State Technical University, Russia, ISBN 5-230-08690-4, 1994, 89 pp.
- [32] Semro R. A., Parts processing laboratories help provide effective mass finishing, Elsevier Science, Metal finishing A. 1992, vol. 90, n° 9, 7-10 pp.

## Références bibliographiques

- [33] Yabuki A., Baghbanan M. R., Spelt J. K., Contact forces and mechanisms in a vibratory finisher, *Wear* Vol. 252, N. 7, 2002, 635-643 pp.
- [34] Dreher M., Mass finishing of delicate parts for medical, surgical, and applications with CBF technology, Elsevier Science, *Metal finishing A.*, vol. 97, n° 7, 1999, 56-59 pp.
- [35] Gillespie L. K., *Countersinking Handbook*, Industrial Press, Inc., USA, ISBN 083113318X, 2008, 200 pp.
- [36] Kent R. Olsen, Choosing the right finishing equipment, *Metal Finishing*, Vol. 104, Issue 5, 2006, 19–23 pp.
- [37] Babichev A. P., *Basis of vibrating technology. Manual Part 1.* publisher: Don State Technical University, Russia, ISBN 5-230-08657-2, 1993, 98 pp.
- [38] Vigneashwara Pandiyan, Sylvie Castagne, S. Subbiah High Frequency and Amplitude Effects in Vibratory Media Finishing, *Procedia Manufacturing*, Vol. 5, 2016, 546–557 pp.
- [39] Hashimoto F., Yamaguchi H., Krajnik P. et al., Abrasive fine-finishing technology, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 65, Issue 2, 2016, 597–620 pp.
- [40] William Nebiolo, Loading vibratory finishing bowls for optimal quality, *Gardner Business Media Inc.*, Vol. 78, issue 06, 2014, 26-29 pp.
- [41] William Nebiolo, Loading vibratory finishing bowls for optimal quality, *Gardner Business Media Inc.*, Vol. 78, issue 06, 2014, 26-29 pp.
- [42] Fraas A. P., Design of machines for driving complex-mode vibration fluidized beds, *journal of fuel and energy abstract*, Vol. 37, 1996, 451-451 pp.
- [43] Murphy Michael, Mass Finishing, *Journal of Metal Finishing USA*, Vol. 95, Issue 2, 1997, 20 pp.
- [44] Baghbanan M.R., Yabuki A., Timsit R. S., Spelt J. K., August, Tribological behaviour of aluminum alloys in a vibratory finishing process, *Wear* Vol. 255, N. 7, 2003.1369-1379 pp.
- [45] Gillespie L. K., *Countersinking Handbook*, Industrial Press, Inc., USA, ISBN 083113318X, 2008, 200 pp.
- [46] John E. Matsson, *An Introduction to SolidWorks Flow Simulation*, Mission, Kansas : Schroff Development Corporation, 2013
- [47] David Planchard, *SOLIDWORKS 2017 Reference Guide*, mission, KS 66222 913-262-2664, SDC Publication
- [48] Prof. Sham Tickoo, *SolidWorks 2013 for Designers*, Schererville, IN : CAD/CIM Technologies, 1028 pp, 2013.
- [49] Kuang-Hua Chang, *Motion Simulation and Mechanism Design with SOLIDWORKS Motion 2021*, [S.l.] : SDC PUBNS, 2021.
- [50] Randy Shih, *Introduction to Finite Element Analysis Using SolidWorks Simulation 2014*, Mission : SDC Pub., 2014.
- [51] David C. Planchard, Marie P. Planchard, *SolidWorks 2013 Tutorial*, Mission, KS : SDC Publications, 2013.
- [52] David Planchard, *Engineering Design with SOLIDWORKS 2020*, Mission, KS : SDC Publications, 2020.
- [53] Randy Shih, Paul Schilling, *Parametric Modeling with SOLIDWORKS 2020*, Mission, KS : SDC Publications, 2020.