

République algérienne démocratique et populaire

Ministère de l'enseignement supérieur

et de la recherche scientifique

Université de M'sila

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة المسيلة



Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Construction mécanique

Thème :

**Conception et simulation d'une machine vibratoire avec
solidworks**

Proposé et dirigé par :

Yousef Rouabhi

Présenté par

1- Belabbas Abderrahim

2- Mimoune Zineddine

Session : Juin 2020

Année Universitaire: 2019/2020

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.

Table de matière

Introduction générale.....	07
Chapitre 1: Généralités sur la conception et la conception assistée par ordinateur(C.A.O)	11
1.1 Introduction.....	11
1.2 Conception en mécanique.....	11
1.2.1 Analyse des besoins.....	13
1.2.2 Élaboration du concept	15
1.2.3 Conception préliminaire.....	17
1.2.4 Conception détaillée	19
1.2.5 Synthèse	20
1.3 La conception assistée par ordinateur, véritable enjeu des entreprises	21
1.3.1 Une meilleure production grâce à la conception assistée par ordinateur.....	21
1.3.2 Un gain de temps.....	21
1.3.3 Une précision de conception inégalable	22
1.4 Définition de la CAO	22
1.4.1 Le modeleur géométrique.....	22
1.4.2 L'outil de visualisation	23
1.5 Outil CAO utilisé dans le mémoire	24
1.6 Historique de la CAO	25
1.7 Domaines d'application de la CAO	27
1.7.1 Industries impliquées dans les domaines de la CAO	27
1.8 Matériel du CAO	28
1.9 Logiciel de CAO.....	29
1.9.1 Outils satellites	30
1.9.2 Logiciels CAO en mécanique.....	30
1.10 Conclusion	31
2 Chapitre 2: Traitement de masse finition vibratoire et possibilités technologiques	33
2.1 Origine du traitement.....	33
2.2 Introduction à la masse finition.....	33
2.3 Nature et paramètres principaux du TMFV	34
2.3.1 Le premier paramètre et le plus important est la pièce.	35
2.3.2 Le deuxième paramètre est les Médias de Masse Finition (MMF).	35
2.3.3 Le troisième paramètre de la masse finition est la solution à base de composé où d'eau.....	36
2.3.4 Le quatrième et le dernier paramètre est l'équipement de masse finition.	37
2.4 Bref historique de l'évolution de la machine vibratoire	37
3 Chapitre 3: Présentation du logiciel de conception SolidWorks.....	45

3.1	Introduction.....	45
3.2	Choix de l'outil informatique de CAO.....	45
3.2.1	Motivations du choix du logiciel SolidWorks	46
3.3	Les avantages de SolidWorks CAO 3D [55].	47
3.4	Présentation de SolidWorks	47
3.4.1	Historique	48
3.4.2	Fonctionnement	48
3.4.3	Lancement	50
4	Chapitre 4: Modélisation des pièces de la machine vibratoire	60
4.1	Introduction.....	60
4.2	Modélisation géométrique.....	60
4.2.1	Définition	60
4.2.2	Avantages	61
4.2.3	Inconvénients	61
4.3	Modélisation de la machine vibratoire	61
4.3.1	Machine vibratoire circulaire	61
4.3.2	Caractéristiques de la machine vibratoire.....	63
4.4	Modélisation des pièces de la machine vibratoire.....	64
4.4.1	Modélisation de P2 Chambre de travail	64
4.4.2	Modélisation de P1 Chambre de couverture	66
4.4.3	Modélisation de P5 élément flexible.....	68
4.4.4	Modélisation d'une cage de l'élément flexible	69
4.4.5	Modélisation des stops bruit.....	70
4.4.6	Modélisation de P6 vibreur	72
4.4.7	Modélisation de P7 masse excentrique	74
4.4.8	Modélisation de P8 cage vibreur	75
4.4.9	Modélisation de P9 conduite	77
4.4.10	Modélisation de P10 le boucle de fixation	78
4.4.11	Modélisation de P11 réservoir	80
4.4.12	Modélisation de P12 Boitier support	81
4.4.13	Modélisation de P13 Vis de fixation cage de l'élément flexible.....	83
4.4.14	Modélisation de P14 Vis de fixation la masse excentrique	84
4.4.15	Modélisation de P15 Vis de fixation cage vibreur.....	85
4.4.16	Modélisation de P16 Crous de fixation cage de l'élément flexible	86
4.4.17	Modélisation de P17 Crous de fixation la masse excentrique	87
4.4.18	Modélisation de P18 Crous de fixation cage vibreur	88
4.4.19	Modélisation de P19 Vis à oreilles de fixation le boucle.....	89

4.5	Conclusion	90
5	Chapitre 5 : L'assemblage des pièces de la machine vibratoire.....	92
5.1	Introduction.....	92
5.2	Assemblage.....	92
5.2.1	Assemblage avec les contraintes.....	92
5.2.2	Les étapes d'assemblage	93
5.2.3	Premier assemblage	93
5.2.4	Sous assemblage 3.....	97
5.2.5	Sous assemblage 1.....	103
5.2.6	Sous assemblage final	107
5.3	Conclusion	108



Introduction générale

Introduction générale

Durant la deuxième moitié du siècle passé, le monde a eu à faire face de multiples transformations et grandes réalisations dans tous les domaines ; parmi elles, la demande de plus en plus accrue de produits nouveaux. La compétitivité de mise pousse les industriels à développer sans cesse de nouveaux produits et dans des temps de plus en plus courts. Le développement et la mise sur le marché d'un produit exigent à ce que les prix soient les plus bas possible. Les études ont toujours coûté chères ce qui a poussé les chercheurs à développer les moyens nécessaires pour réduire les coûts donc les temps alloués aux études [1].

L'idée de modélisation d'un système C.A.O. (Conception Assistée par Ordinateur) adaptée à la conception mécanique (entendu par-là, la méthodologie d'analyse de conception) vient du fait que les moyens informatiques, de calculs et les procédés de réalisation dans le domaine de la mécanique (Automobile, aéronautique, architecture navale ...) ont vu une très grande avancée. Une précision, nécessaire dans ce cas, est que les systèmes ou logiciels C.A.O. existants sont très adaptés au dessin de pièces (2D, 3D), à l'architecture, à la conception de circuits électroniques, etc.

Par exemple, les systèmes de conception proposés prenaient en charge la modélisation de pièces utilisant des primitives de solides et les courbes de Béziérs chez DASSAULT (logiciels CATI, CATIA, Solidwoks). Un système qui prend en charge le problème de conception, l'analyse et le choix de solutions technologiques, est l'un des sujets qui sont en cours de développement dans les laboratoires de recherche à travers le monde [2].

La réflexion sur le sujet de conception mécanique a commencé à travers le monde aux années 1970 aux États-Unis et au Japon par TOYOTA [3], à l'Air Force (IISS : Integrated Information Support System) aux États-Unis en 1990, (E.I.F. : Entreprise Integration Information Framework en 1990), (I.I.C.E. : Information Integration for Concurrent Engineering in 1990), (CAL S Industrie Steering Groups en 1991); en EUROPE, le projet ESPRIT en 1989, le projet PRIMECA (Pôle de Ressources Informatiques pour la MECAnique) en 1990 et autres ont été lancés à la suite et en conformité avec ISO 9000 (International Standard Organisation) (Recueil de normes Internationales qui présente la stratégie des années 90 et la vision 2000 dans le domaine du management 'Norme 9000-1', de la gestion 'Norme 9000-2'..., de la

qualité en conception 'Norme 9001', et l'assurance de la qualité dans les différents domaines incluant la mécanique...).

Un nouveau domaine a été ouvert au monde de la recherche la CMAO (Conception Mécanique Assistée par Ordinateur). La démarche CMAO est d'intégrer tout le processus de conception dans un système qui sera défini comme un processeur de conception activant des générateurs de données (des modèles), passant par l'interactivité Homme - Machine jusqu'à l'obtention du produit (virtuel dans un premier temps assurant la fonctionnalité), sa réalisation, sa maintenabilité et son recyclage à la fin de son cycle de vie [4].

Par exemple, les constructeurs automobiles recyclent un certain nombre d'éléments à partir de la récupération de ce qu'on appelle communément « la casse » soit pour leur intégration dans un nouveau produit, soit en tant que pièces de rechange ou aussi comme matière première pour la fonderie et le recyclage de matière.

L'idée était fort saisissante et séduisante, mais la validation d'une telle démarche restait encore futuriste malgré les travaux qui sont faits à ce jour. Des travaux ont été initiés depuis approchant ce thème. Les moyens de conception assistée par ordinateur existants permettent le dessin de pièces, donc l'idée de la solution et de son choix est établie en tant que croquis et la conception de l'ensemble est faite par assemblage de pièces définies.

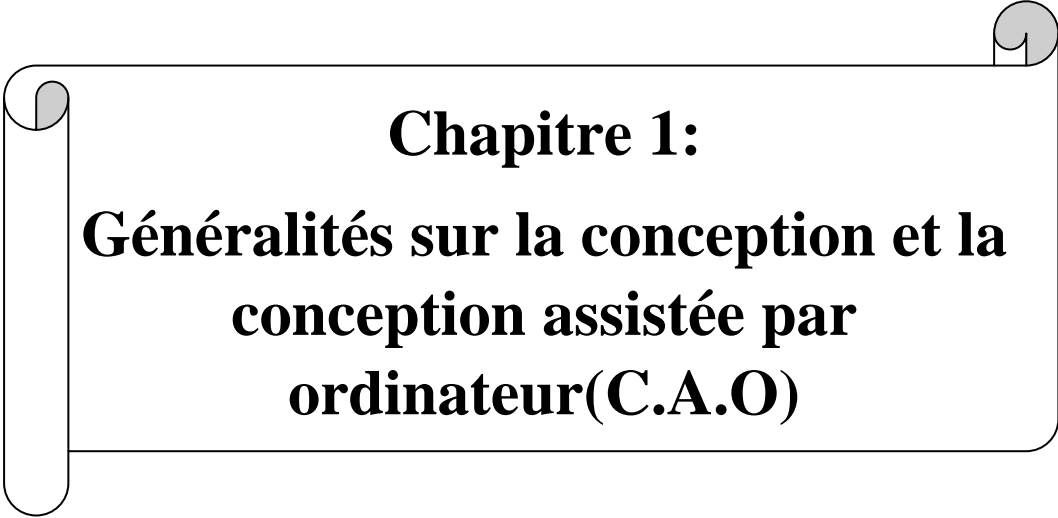
L'idée actuelle est d'avoir un système d'aide à la conception (analyse de conception) entre l'utilisateur et l'ordinateur afin de modéliser le produit à réaliser, de faciliter la conception et le choix de la solution la plus satisfaisante. La conception des machines mécaniques repose sur une double activité qui peut être résumée en [5] :

- **Activité analytique** : comprendre, expliquer, quantifier les comportements mécaniques ;
- **Activité synthétique** : innover, créer de nouveaux arrangements de pièces, c'est le développement du produit.

La modélisation d'un système C.A.O. revient à développer un système qui permet la prise en charge de la formulation du problème, le choix de solutions technologiques ainsi que la génération du modèle produit graphique répondant aux fonctionnalités et exigences du

Introduction générale

produit demandé. Le système C.A.O. doit aussi assurer une cohérence spatiale et temporelle des données du modèle.



Chapitre 1:
Généralités sur la conception et la
conception assistée par
ordinateur(C.A.O)

Chapitre 1: Généralités sur la conception et la conception assistée par ordinateur(C.A.O)

1.1 Introduction

La conception mécanique est au cœur de la pratique professionnelle de l'ingénieur. À partir d'un cahier des charges, l'objectif du concepteur est de parvenir rapidement et efficacement à un avant-projet optimisé. Ce chapitre propose une méthodologie qui guide le concepteur dans cette démarche, augmentant ainsi la compétitivité de l'entreprise.

Cette méthodologie repose sur le « triangle de la conception » : calculs graphiques, CAO et assurance qualité. Appliqués au cours des projets, ces concepts permettent de guider le concepteur dans sa démarche et de fournir un dossier complet et efficace de conception au client [6].

1.2 Conception en mécanique

La conception est la phase créative d'un projet d'ingénierie. Le but premier de la conception est de permettre de créer un système ou un processus répondant à un besoin en tenant compte des contraintes. Le système doit être suffisamment défini pour pouvoir être installé, fabriqué, construit et être fonctionnel, et pour répondre aux besoins du client. Dans cette phase, nous distinguerons [7] :

- L'analyse des besoins
- L'élaboration du concept
- La conception préliminaire
- La conception détaillée
- La synthèse
- Un exemple

La conception peut être divisée en cinq étapes séquentielles (Figure 1). En premier lieu, l'analyse des besoins permet d'établir la ou les problématiques et les contraintes. Puis, l'ingénieur est en mesure d'imaginer un premier concept lui permettant de proposer une conception préliminaire, basée sur des calculs plus sophistiqués tenant compte d'un éventail plus large de paramètres.

Par la suite, l'ingénieur augmente la précision des détails pour produire la conception détaillée qui mène à la finalité de son travail, notamment la fabrication, la construction, la réalisation ou l'opération. La finalité de la conception est généralement illustrée par un plan dont certains éléments sont détaillés et spécifiés dans un devis.

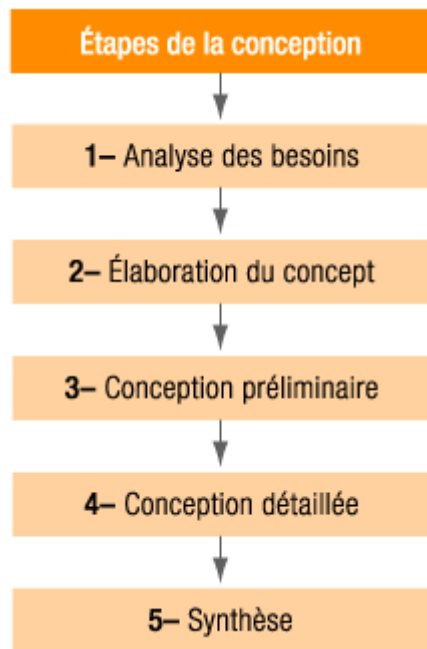


Fig. 1 Étapes de la conception

L'ingénieur doit aussi documenter de façon exhaustive chacune des étapes de conception afin d'en permettre l'entière compréhension par un tiers, à des fins de révision ou de modifications ultérieures, par exemple. Tout élément (données brutes, calculs, notes, comptes rendus de réunion, fichiers informatiques, etc.) doit être inscrit dans un dossier structuré, de façon à en faciliter la consultation [8].

Selon la complexité de l'ouvrage, plusieurs plans, dessins et devis peuvent s'avérer nécessaires. Ils peuvent être divisés par éléments physiques, par domaines, par étapes du processus de conception ou même, dans le cas d'un processus, par séquences temporelles. D'autres documents d'ingénierie peuvent être produits, par exemple des schémas d'écoulement, des diagrammes logiques de contrôle, etc.

Chaque étape de conception est décrite de façon générale pour couvrir les différentes activités reliées à l'ingénierie. La conception ne se limite pas aux ouvrages d'infrastructures majeurs, mais touche aussi tous les domaines de l'ingénierie : cartes électroniques, procédés pharmaceutiques, génie logiciel, équipements électromécaniques en industrie lourde, etc.

1.2.1 Analyse des besoins

La première étape de la conception consiste à analyser la situation pour tenir compte des contraintes, des risques et de tout autre élément pertinent et assurer un ouvrage ou un processus répondant aux besoins du client. À cette étape, l'ingénieur doit accomplir les principales actions suivantes [9] :

- Connaître le contexte;
- Déterminer les besoins et les contraintes;
- Déterminer les paramètres de conception;
- Préparer le cahier des charges.

1.2.1.1 Connaître le contexte

Cette activité permet à l'ingénieur de bien comprendre le contexte du moment et d'obtenir de l'information supplémentaire permettant d'en élargir les horizons ou de tenir compte des considérations futures. La source principale d'information étant généralement le client lui-même ou l'employeur, il ne faut pas hésiter à poser des questions à cette personne pour obtenir des renseignements utiles. Ceux-ci sont parfois si évidents pour le client qu'il n'a tout simplement pas pensé à les mentionner.

En parallèle, l'ingénieur cherche de l'information supplémentaire en se documentant sur le sujet. Il visite généralement le site de l'ouvrage et l'équipe de conception. Au cours de cette visite, l'ingénieur peut effectuer des mesurages, prendre des photos et réaliser différents tests. Plusieurs visites pourraient être nécessaires.

1.2.1.2 Déterminer les besoins et les contraintes

Une fois mis en perspective avec le contexte, les besoins réels du client permettent de redéfinir ou de valider ceux que ce dernier a proposés. L'ingénieur devrait structurer les besoins par degré d'importance ou par thèmes, afin de mieux cerner à quelle étape de la conception ces besoins doivent être pris en compte [10].

L'ingénieur, en collaboration avec le client, doit également établir les contraintes susceptibles de nuire à l'atteinte des objectifs par l'ouvrage ou le processus. L'ingénieur ne doit pas se limiter aux contraintes physiques, techniques et économiques. Il doit aussi élargir sa vision et tenir compte des contraintes environnementales, humaines, sociales, légales et de tout autre élément pertinent.

1.2.1.3 Déterminer les paramètres de conception

Pour répondre aux besoins, l'ingénieur doit déterminer les paramètres de conception à partir des mesures prises sur le site de l'ouvrage ou du processus, de l'information technique disponible et de son expérience. L'ingénieur doit être réaliste quant au nombre de paramètres.

L'ingénieur devrait également considérer le développement durable comme un critère de conception en soi, tant au stade de l'ingénierie préliminaire qu'à celui de l'ingénierie détaillée.

1.2.1.4 Préparer le cahier des charges (ou plan de travail)

Les étapes précédentes permettent à l'ingénieur de proposer au client un cahier des charges réaliste et convenant à ses besoins, dans lequel il décrit de façon claire et précise les tâches à effectuer et une évaluation du temps pour les accomplir [11].

De plus, cet exercice permet à l'ingénieur d'évaluer adéquatement l'envergure du mandat de conception et de vérifier s'il a toutes les compétences pour le réaliser ou s'il devra recourir à des ressources externes, en accord avec son client. Le contenu d'un cahier des charges peut varier considérablement, selon:

- Le type de projet ou de services : étude d'ingénierie, conception, surveillance des travaux, etc.;
- Le type de bien : réalisation d'un ouvrage, fabrication d'équipement, etc.;
- Le domaine d'application d'ingénierie concerné.

Un cahier des charges devrait comporter les principaux éléments suivants :

- Mise en situation
- Mandat
- État des lieux
- Description générale du projet
- Description détaillée des travaux
- Contraintes techniques particulières
- Spécifications techniques
- Liste des biens livrables
- Clauses administratives

1.2.2 Élaboration du concept

L'ingénieur doit élaborer plusieurs concepts pour parvenir à une solution optimale répondant aux besoins du client. Parmi les tâches accomplies par l'ingénieur, cette étape est sans doute celle qui sollicite le plus sa créativité.

Les séances de remue-méninges (*brainstorming*) favorisent le processus en mettant en commun la créativité de plusieurs personnes. Il est parfois indiqué d'inviter à ces séances des personnes ayant peu de connaissances dans le domaine d'activité couvert par le mandat afin d'amener une nouvelle vision ou une approche différente. Par sa connaissance approfondie du domaine, le client apporte souvent une contribution importante.

Les objectifs des mandats de conception qu'ont à atteindre les ingénieurs sont si nombreux et de nature si différente qu'il est impossible de décrire ici les façons d'y parvenir. Les efforts fournis par l'ingénieur à cette étape conduisent à la solution optimale avant même de commencer les calculs ou autres tâches plus complexes demandant temps et énergie. Le client se trouve ainsi à être mieux servi, à moindre coût [12].

À cette étape, l'ingénieur doit exécuter les principales actions suivantes :

- La revue technologique et des règles de l'art;
- L'élaboration des concepts;
- L'établissement des démarches préparatoires.

1.2.2.1 Revue technologique et des règles de l'art

La revue technologique permet à l'ingénieur :

- De mettre à jour l'information technique ainsi que les normes et règles de l'art;
- De réviser l'état des technologies disponibles ou existantes.

L'ingénieur complète sa revue technologique par une recherche bibliographique permettant de localiser les sources de données qu'il croit pouvoir utiliser pour la conception. L'ingénieur doit particulièrement s'assurer de la fiabilité des sources. La littérature en format papier — revues ou livres — demeure une source fiable.

Par contre, l'ingénieur doit demeurer vigilant en ce qui concerne les données et les renseignements trouvés sur Internet ou obtenus par l'intermédiaire de ses contacts professionnels. Il est recommandé de valider ces données avec celles obtenues d'autres sources. Si ce n'est pas possible, l'ingénieur doit évaluer la crédibilité de la source elle-même en communiquant avec son responsable et en posant des questions.

1.2.2.2 Élaboration des concepts

L'ingénieur fait une description détaillée des différents concepts et solutions envisagées, en exposant leurs avantages et leurs inconvénients respectifs. Les concepts peuvent parfois être représentés sommairement, sous forme graphique (schéma ou dessin).

Dès lors, l'ingénieur peut amorcer une analyse de ces concepts, notamment en effectuant des calculs sommaires afin d'établir un plan de mise en œuvre et d'en estimer les coûts et les échéances. L'ingénieur choisit les concepts les plus avantageux et les documente dans un rapport d'ingénierie conceptuelle qu'il remet au client. Ce rapport contient les principaux éléments suivants :

- Les objectifs, les données de base, les besoins et les contraintes du client;
- Les exigences fixées par les différents codes, normes et règlements;
- L'analyse des concepts, appuyée par des calculs sommaires et des dessins préliminaires;
- Les coûts et les échéances;
- Le plan de mise en œuvre du projet;
- Les plans et les schémas;
- Une grille de comparaison des concepts indiquant l'option privilégiée par l'ingénieur concepteur ainsi que les raisons de son choix.

1.2.2.3 Établissement des démarches préparatoires

Afin de réduire les délais parfois importants liés à la préparation de la réalisation de l'ouvrage ou du processus, l'ingénieur établit une liste des démarches préparatoires. Ces démarches correspondent aux différentes modalités par lesquelles l'ingénieur s'assure de la disponibilité [13] :

- Des espaces (en fonction des contraintes de production, des échéances, des prévisions pour l'avenir, etc.);
- Des services (énergie, téléphone, câble, eau, air, vapeur, etc.);
- Des terrains qui seront requis au cours de la réalisation.

L'ingénieur tient aussi compte des différentes demandes :

- De permis;

- D'accès à des services;
- D'acquisition de terrains ou autres, incluant la vérification de la conformité de l'ouvrage prévu aux lois relatives à l'aménagement ou à l'environnement (urbanisme, environnement, zonage agricole et réglementations municipales).

L'ingénieur fournit généralement au client la liste des demandes préparatoires, à laquelle il joint une estimation des délais prévus. À la demande du client, l'ingénieur peut être appelé à préparer et à faire le suivi et la coordination de ces demandes et démarches.

1.2.3 Conception préliminaire

Une fois le concept défini et choisi, l'ingénieur procède à l'étape de la conception préliminaire, aussi appelée ingénierie préliminaire, au cours de laquelle les paramètres de conception sont optimisés en fonction des objectifs et des besoins du client. Dans des cas complexes, l'ingénierie préliminaire est divisée en étapes à précision progressive.

Il est impératif de documenter non seulement les calculs et les résultats eux-mêmes, mais aussi d'explicitier le cheminement logique de la conception. À cette étape, l'ingénieur doit prendre soin d'exécuter les principales actions suivantes [14]:

- La base de la conception;
- Les calculs;
- Les plans;
- La coordination interdisciplinaire;
- La revue de conception;
- Le rapport d'ingénierie préliminaire.

1.2.3.1 Base de la conception

L'ingénieur subdivise la conception en suffisamment d'éléments pour atteindre le degré de précision exigé par le mandat et le projet. Il détermine la valeur des paramètres de chaque élément de conception en se basant sur des calculs, des simulations, des essais, des mesures, etc.

L'ingénieur apporte un soin particulier à ne pas négliger d'éléments majeurs et veille à bien expliciter le cheminement logique de la conception de chacun des éléments et de leurs interactions. Les calculs

1.2.3.2 Calculs

Si nécessaire, l'ingénieur organise les calculs sous une forme explicite afin d'en faciliter la compréhension et l'interprétation. Il peut, par exemple, les regrouper par thèmes ou par variables. L'ingénieur peut alors s'assurer plus facilement que les calculs sont complets et valides et que la logique est respectée. Si une méthode statistique est utilisée pour éliminer les résultats douteux ou que d'autres opérations de transformation sont appliquées, l'ingénieur doit les expliciter et en justifier le besoin.

Les calculs incluent tous les documents permettant leur reconstitution (références, courbes caractéristiques, données de base, estimations, articles de normes ou codes, etc.). L'ingénieur s'assure de la validité des moyens dont il se sert pour faire ses calculs, par exemple, en procédant à un ou plusieurs calculs manuels ou en se renseignant sur la rigueur et la qualité technique des logiciels utilisés, le cas échéant. Il assume, bien entendu, la responsabilité des erreurs qui peuvent en découler.

Lorsque les calculs sont terminés, l'ingénieur devrait procéder lui-même à une vérification de leur rigueur et de la pertinence des données utilisées. Une vérification par un autre ingénieur possédant les compétences et les connaissances requises pourrait être demandée. Différentes situations nécessitent de faire vérifier le travail d'un ingénieur par un autre ingénieur. Ces situations peuvent être les suivantes : exigences du client, exigences des procédures de qualité de l'entreprise ou la complexité du projet.

1.2.3.3 Plans

Le résultat d'une conception préliminaire se traduit généralement par sa représentation graphique sous forme de plans ou de dessins. Sont considérés comme des plans ou des dessins:

- Les schémas d'écoulement;
- Les cartographies de circuit imprimé;
- Les schémas-blocs de programmation;
- Les diagrammes logiques de contrôle;
- Les arrangements généraux;
- L'implantation des ouvrages;
- Toute autre forme d'illustration comportant des éléments de conception.

Le niveau de détail des plans préliminaires est limité pour illustrer l'essentiel de la conception. L'ingénieur établit et tient à jour une liste des plans et du contenu sommaire de chacun, incluant l'historique des versions.

1.2.3.4 Coordination interdisciplinaire

Dans le cas où plusieurs professionnels ou domaines sont retenus pour le même projet, l'ingénieur veille à ce qu'une personne soit désignée pour réaliser la coordination interdisciplinaire. Cette coordination inclut notamment la coordination finale des plans.

1.2.3.5 Revue de conception

Selon la situation, cette étape a lieu généralement lorsque :

- Plusieurs domaines ont été mis à contribution dans la conception;
- Le niveau de complexité l'exige;
- Le client le demande;

ou

- Les procédures de contrôle qualité de l'entreprise l'exigent.

L'objectif est de permettre la mise en commun des divers avis sur des éléments particuliers et d'en assurer l'intégration.

1.2.3.6 Rapport d'ingénierie préliminaire

L'ingénieur s'assure que les changements de la revue de conception ont été pris en compte au moyen d'un système de révisions, lesquelles peuvent prendre la forme de procédures de contrôle qualité. L'ingénieur produit une version finale du rapport d'ingénierie préliminaire en y joignant les plans et, généralement, une estimation préliminaire des coûts de réalisation et des échéances. Cela permet au client de prendre une décision éclairée concernant la poursuite du projet.

Les plans portent la mention « Version préliminaire – émise pour commentaires ». Il est également recommandé d'inscrire sur les plans que ces derniers ne sont pas destinés ou ne doivent pas servir à la construction, à l'installation ou à la fabrication, selon le cas.

1.2.4 Conception détaillée

Une fois la conception préliminaire acceptée par le client, l'ingénieur procède à la conception détaillée ou ingénierie détaillée : pendant cette étape, il détermine les spécifications de chaque élément de l'équipement ou du processus.

L'ingénierie détaillée est divisée par équipements ou par étapes de procédé. Il est impératif non seulement de documenter les spécifications mêmes, mais aussi d'en expliciter les calculs ou les raisons.

À cette étape, l'ingénieur doit exécuter les principales actions suivantes [15]:

- La base de la conception;

- Les calculs détaillés;
- Les plans et les devis;
- La revue de conception;
- Le rapport final d'ingénierie.

1.2.5 Synthèse

L'objectif ultime d'une conception étant sa concrétisation éventuelle, l'ingénieur doit fournir au client les éléments et les outils lui permettant d'entamer les démarches de réalisation de l'ouvrage ou du projet. Cela comprend les éléments suivants [16] :

- Une estimation des coûts de réalisation;
- La préparation pour la réalisation;
- La documentation finale.

1.2.5.1 Estimation des coûts de réalisation

L'ingénieur reprend et précise les coûts de réalisation estimés précédemment en obtenant des prix budgétaires auprès des entrepreneurs et des fournisseurs. Cela permet au client d'amorcer le processus de financement de la réalisation du projet, que cela soit fait à l'interne ou au moyen d'un financement externe.

1.2.5.2 Préparation pour la réalisation

À l'intention du client, l'ingénieur établit toutes les démarches préalables à la réalisation, en estime les coûts et prépare un échéancier. Ces démarches peuvent varier considérablement en fonction du type de projet. En voici quelques exemples :

- La formation du personnel;
- La qualification des fournisseurs;
- L'obtention des permis de construction, etc.

1.2.5.3 Documentation finale

L'ingénieur recueille les derniers commentaires du client, soulevés au moment de l'approbation finale, et les intègre aux plans et devis finaux émis pour appel d'offres (souvent appelés « pour soumission »), pour construction ou pour fabrication.

Les plans et devis sont signés et scellés et portent la mention « Émis pour construction », « Émis pour fabrication » ou « Émis pour soumission ».

1.3 La conception assistée par ordinateur, véritable enjeu des entreprises

La conception assistée par ordinateur est utilisée dans de nombreux domaines comme le médical, l'aéronautique, la mécanique, la chaudronnerie... pour concevoir des schémas et des plans lors de la conception d'objets [17]. Mais, quels sont les enjeux des entreprises à utiliser un logiciel de CAO ?

1.3.1 Une meilleure production grâce à la conception assistée par ordinateur

Un logiciel de conception assistée par ordinateur, aussi appelé CAO, tel qu'il est présenté aujourd'hui est indispensable à toute entreprise qui souhaite améliorer ses conceptions et ses productions, ce qui représente la base pour rester compétitif face à ses concurrents.

Si la productivité est améliorée, c'est parce que cet outil permet de réduire les délais d'exécution et les coûts de production. En effet, grâce à ses possibilités dans les paramètres et aux simulations qui permettent de mieux se rendre compte du rendu réel du produit, il évite de nombreuses erreurs de conception, car vous pouvez faire toutes les modifications nécessaires avant sa production réelle.

La possibilité de faire des simulations facilement et de les intégrer directement dans l'objet conçu virtuellement permet aux entreprises utilisant ce type d'outil de réaliser jusqu'à 30 % d'économies sur le prix de la conception d'un produit.

Par ailleurs, en créant une pièce optimisée dès le début, vous n'avez pas besoin de multiplier les tests et les prototypes. La commercialisation de la pièce sera de ce fait plus sûre et plus rapide, ce qui limite les coûts et permet même de les réduire, toute entreprise doit tenir son budget au plus près.

1.3.2 Un gain de temps

Avoir recours à la conception assistée par ordinateur représente également un gain de temps. Or, comme le dit l'adage le temps, c'est de l'argent ! De plus, dans un monde en perpétuel mouvement où des innovations apparaissent chaque jour, il est indispensable pour toute entreprise de toujours avoir un temps d'avance pour ne pas se laisser distancer.

CHAPITRE I Généralités sur la conception et la conception assistée par ordinateur(C.A.O)

La CAO répond à ce besoin, car de nombreuses tâches sont automatisées pour optimiser le temps de travail. C'est le cas notamment du passage 2 D en 3 D, du calcul des mesures, de la mise en place d'un modèle 3 D... Délesté des tâches rébarbatives, vous pouvez alors vous concentrer sur la conception et l'innovation.

Pour vous faire gagner du temps, le logiciel de conception assistée par ordinateur est en mesure d'indiquer les erreurs de vos pièces ainsi que de vos assemblages et de vous proposer les corrections qui s'imposent pour les rectifier. Vous n'avez ainsi pas à multiplier les essais, vous savez directement comment corriger.

1.3.3 Une précision de conception inégalable

Pour les entreprises spécialisées dans la conception d'objets, quels qu'ils soient, il y a un élément essentiel, c'est la précision des calculs. L'imagerie en 3 D apportée par la conception assistée par ordinateur et dont l'intérêt vous est présenté, donne de nombreux angles de vue qui permettent aux professionnels de détecter immédiatement les éventuelles erreurs et de voir les problèmes.

En effet, lorsqu'un concepteur pense son objet, il peut le faire en 3 D mais il le dessine en 2 D, les erreurs lors du transfert sont alors tout à fait possibles. Alors, qu'avec la CAO, si un dessin est faux, étant représenté en 3 D, le professionnel s'en aperçoit immédiatement et le corrige.

Le dessin assisté par ordinateur devient alors un véritable outil d'aide qui vous accompagne de la conception à la fabrication de chaque objet pour une meilleure productivité. Si vous êtes convaincu par la conception assistée par ordinateur et conscient de ses enjeux, alors retrouvez les conseils pour bien choisir votre logiciel.

1.4 Définition de la CAO

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 [18]:

1.4.1 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, adjacentes, intersections, soustractions, unions, etc.

1.4.2 L’outil de visualisation

1.4.2.1 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.

1.4.2.2 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 3) qui peuvent être classifiées, d'un point de vue historique, selon, 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.

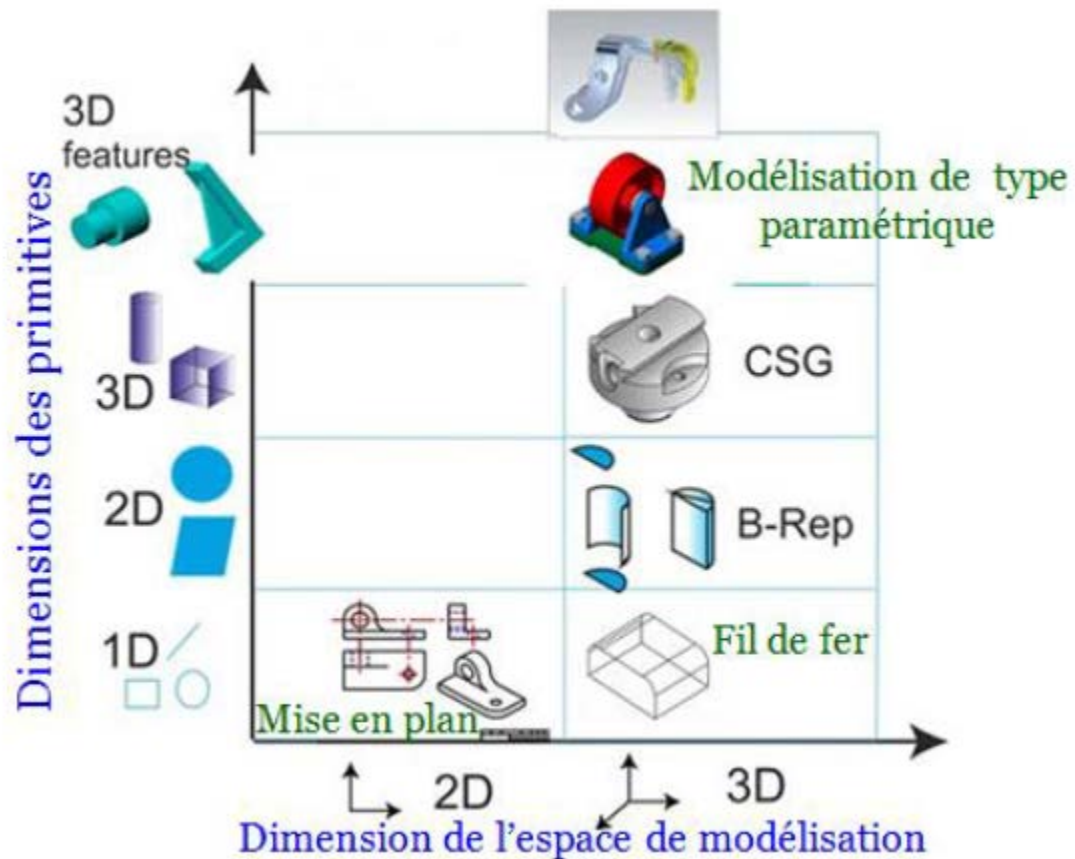


Fig. 3 Diagramme représentant les cinq générations de systèmes de CAO.

1.5 Outil CAO utilisé dans le mémoire

Dans ce travail nous avons choisi le logiciel SolidWorks pour développer les méthodes et techniques proposées. Le logiciel est créé en 1993 par l'éditeur américain éponyme, SolidWorks est racheté le 24 juin 1997 par la société Dassault Systèmes en France. C'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 et Fabrication Assistées par Ordinateur) [19].

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 [20]. 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 (Figure 4). Nous pouvons mentionner par exemple les secteurs suivants :

✓ Aéronautique.

✓ Construction navale.

- ✓ Construction et architecture.
- ✓ Automobile.
- ✓ Ferroviaire.
- ✓ Horlogerie.
- ✓ Électronique.
- ✓ Fabrication.
- ✓ Robotique.
- ✓ Énergie.

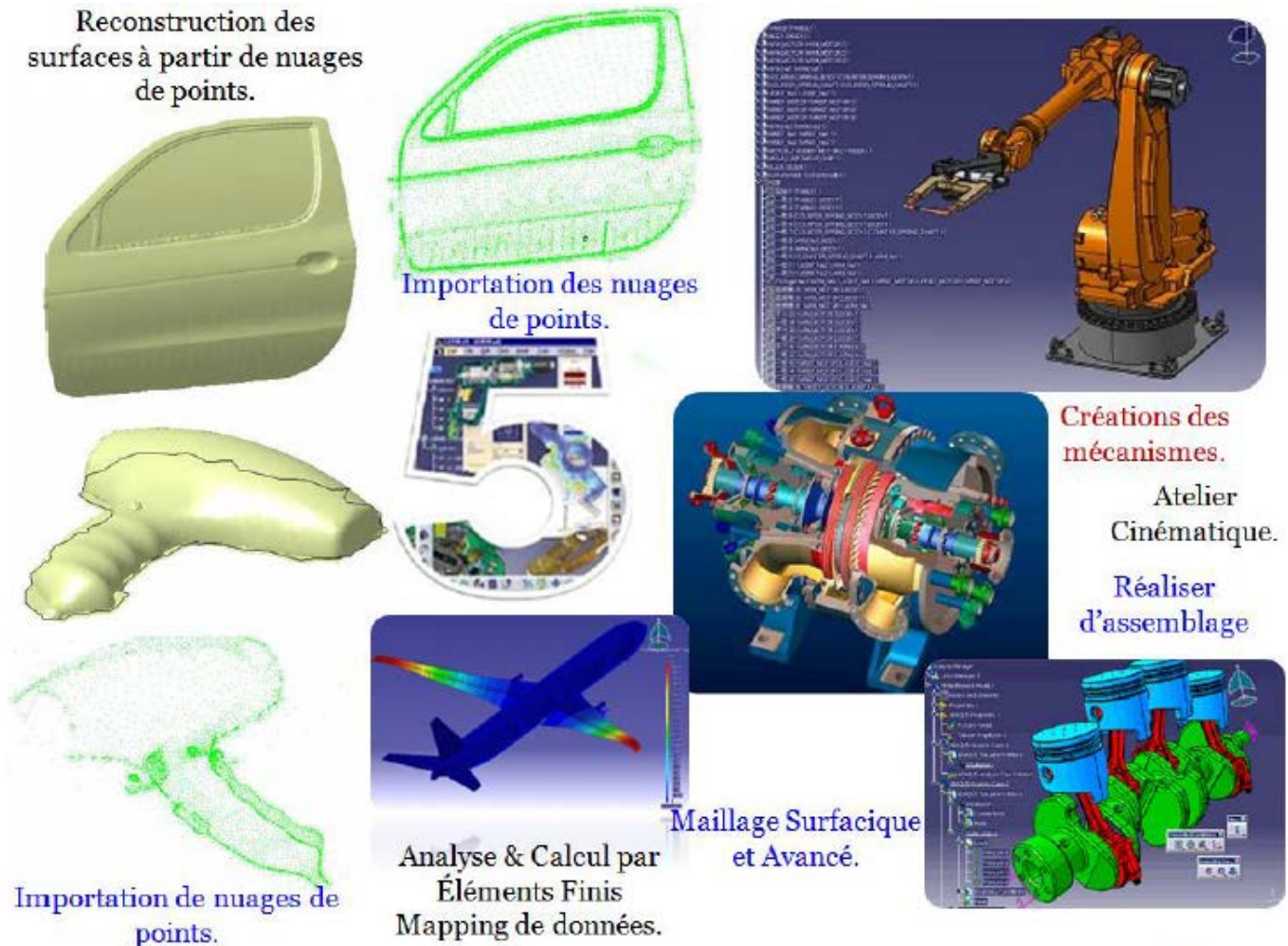


Fig. 4 Quelques possibilités disponibles aux concepteurs via l'outil de CAO- SolidWorks

1.6 Historique de la CAO

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

CHAPITRE I Généralités sur la conception et la conception assistée par ordinateur(C.A.O)

leurs efforts pour mettre sur pied le premier écran graphique et ont abouti au projet nommé DAC 1 (Design Augmented by Computer) [21].

L'équipement comprenait un tube cathodique de grandes dimensions, un crayon électronique, un projecteur de microfilm, le tout branché sur un ordinateur IBM 7094; le prototype de tube a ensuite été commercialisé, uniquement pour la CAO, sous l'appellation IBM 2250.

Pour la première fois, un dessinateur en carrosserie pouvait communiquer avec un ordinateur en utilisant son propre langage : le dessin. L'utilisation de ce matériel faisait appel à une équipe de trente personnes comprenant des ingénieurs mathématiciens, des spécialistes en programmation, des spécialistes en définition de pièces de carrosserie et des spécialistes en commande numérique.

Cette équipe mettait en place la logique, la théorie mathématique et la méthode d'utilisation, afin d'élaborer un système intégrant l'ensemble des opérations depuis la conception jusqu'à la matérialisation tridimensionnelle. L'idée était de passer directement du croquis et des sections de principe du concepteur à la définition numérique sans réaliser le tracé précis de la pièce employé jusque-là en étude de carrosserie.

La définition numérique était déclenchée à partir de concepts géométriques mis à la disposition de l'utilisateur sous forme de menus affichés sur l'écran. L'utilisation opérationnelle de ce genre de matériel a commencé en 1965. La diffusion des consoles graphiques IBM 2250, Control Data Gelac 418, Charactron et SC 4020 de Stromberg Carlson dans les bureaux d'études des grandes sociétés automobiles et aéronautiques a donné naissance au Computer Aided Design (CAD).

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

1.7 Domaines d'application de la CAO

De nombreux domaines d'ingénierie font appel à la CAO, nous avons essayé de faire ici un résumé des plus importants domaines d'applications de la CAO pour voir l'ampleur que prend cette dernière, avec ses outils associés (DAO, FAO.....) [22].

- **Acoustique** : Études sur la propagation et réflexion du bruit,...etc.
- **Automatique** : Essentiellement description et simulation des systèmes continus et discrets et de processus.
- **Chimie** : Conception et représentation 3D de grosses molécules comme les protéines.
- **Electronique** : Conception et simulation de circuits intégrés, circuits imprimés, assemblage de cartes électroniques,...etc.
- **Hydraulique** : Modélisation et calcul des écoulements, pressions (champ scalaire), vitesses (champ vectoriel),.....etc.
- **Mécanique** : La CAO revêt beaucoup de formes dans ce domaine, la conception et le dessin de pièces mécaniques, la modélisation par la méthode des éléments finis, entre autres, pour le calcul de pressions, déplacements, forces....etc.
- **Mécanique des fluides** : Étude des phénomènes de pollution thermique,...etc.
- **Thermique** : Étude concernant la diffusion de la chaleur, la modélisation par des méthodes numériques pour le calcul des températures,...etc.
- **Génie Civil** : Dessin et conception de bâtiments et de constructions diverses, calcul de résistance des matériaux, calcul de structures,etc.
- **Génie électrique** : Conception des machines électriques (moteurs, transformateurs, contacteurs,...), modélisation de phénomènes électromagnétiques (calcul du champ magnétique ou électrique) par des méthodes numériques tels que la méthode des éléments finis, étude des vibrations mécaniques (phénomène couplé en mécanique et en magnétique), simulation et conception des circuits en électronique de puissance, simulation des réseaux électriques,...etc.

1.7.1 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**

CHAPITRE I Généralités sur la conception et la conception assistée par ordinateur(C.A.O)

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.

➤ **Domaines pharmaceutiques ou médicaux**

Prothèses dentaires et toutes les prothèses en études de formes, résistances des matériaux,...etc.

➤ **Industrie de la chaussure**

Passage de la forme 3D d'une chaussure au 2D pour la coupe du cuir, études de formes, modèles, minimisation de chutes,...etc.

➤ **Industrie sidérurgique**

Conception de fours à chauffage par induction (phénomène couplé thermique et électrique),...etc.

1.8 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 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.

En outre, sa liaison avec un écran de visualisation doit être immédiate ou, au moins, très rapide pour assurer une interactivité indispensable au travail de conception. La liaison avec les unités de tracé, qui sont généralement lentes, n'a pas besoin d'être aussi rapide. Pendant longtemps, les systèmes ont fonctionné à base de mini-ordinateur.

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 [23].

1.9 Logiciel de CAO

Dans un système de CAO, le logiciel est l'élément fondamental qui va permettre de conférer au système les qualités de fonctionnement, de convivialité et de fiabilité qui en feront le partenaire efficace du concepteur. Le logiciel d'un système de CAO peut être décomposé en trois éléments essentiels dont les fonctions sont bien distinctes [24]:

- Le logiciel de base,
- Le logiciel finalisé et les logiciels d'applications.

Ces derniers constituent la couche la plus externe du système et sont spécifiques à chaque famille d'applications (mécanique, électronique, électrotechnique,...etc.).

Le logiciel de base est consacré à la gestion et à l'optimisation du fonctionnement interne de l'ordinateur et de ses périphériques. Cette partie du logiciel est le système d'exploitation qui accomplit les tâches qui permettent au programme de l'utilisateur d'être exécuté fidèlement en gérant de manière optimale les ressources de l'ordinateur, de la station de travail ou du réseau.

Par contre le logiciel finalisé est centré sur les aspects fondamentaux de l'interaction entre le concepteur et son projet et gère les aspects généraux de structuration des informations et de gestion des algorithmes propres à tous les systèmes de CAO. Il est formé de tous les outils qui permettent, à partir du logiciel de base, de traiter toutes les applications relatives à l'objet en cours de conception.

À titre d'exemple de logiciels de CAO, on peut citer AutoCAD, SolidWorks, Catia, SolidConcept, SolidEdge, ProEngineer, ACIS....

1.9.1 Outils satellites

La conception assistée par ordinateur s'intègre au processus global de gestion des cycles de vie des produits et est à ce titre relayée par d'autres outils qui viennent en compléter l'usage :

- **L'ingénierie assistée par ordinateur (IAO) et l'analyse par éléments finis (AEF)** qui désigne les solutions logicielles permettant de simuler dans un environnement virtuel aux contraintes paramétrées le comportement physique d'un futur produit.
- **La fabrication assistée par ordinateur (FAO)** regroupant les solutions logicielles qui définissent les opérations de fabrication. Il s'agit d'un outil de programmation qui permet de fabriquer des modèles physiques à l'aide de programmes de CAO.
- **Les machines-outils à commande numérique (CN)** exécutent le programme FAO, afin de découper un profil, graver un motif, thermoformer un volume, polir un objet, etc.
- **Les logiciels de rendus photos-réalistes** qui permettent d'obtenir un aperçu réaliste de l'aspect final du produit et d'en étudier l'esthétique. Ils sont souvent utilisés dans les phases de communication d'un projet et ont atteint une telle qualité visuelle qu'ils remplacent de plus en plus souvent le produit original sur une affiche publicitaire.

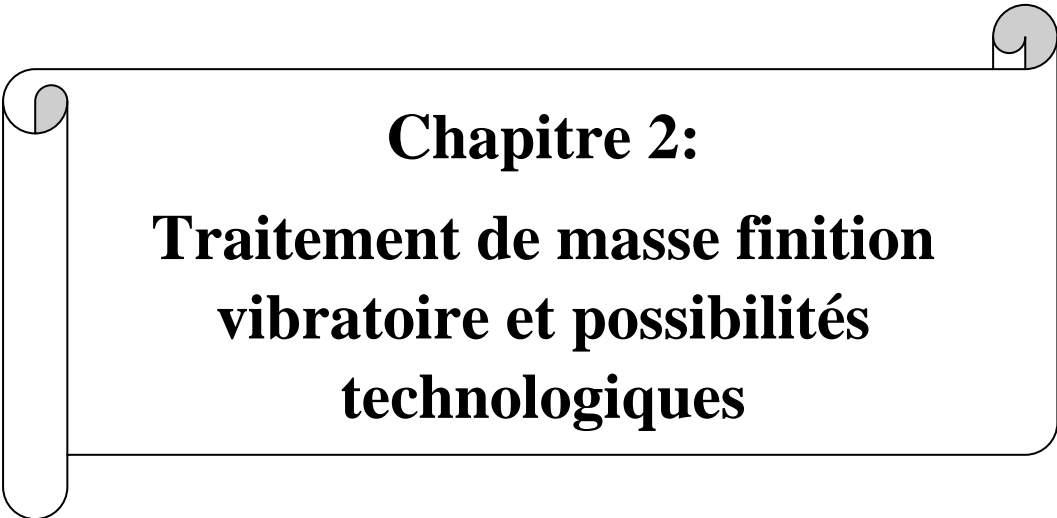
1.9.2 Logiciels CAO en mécanique

Dans le cas général, les systèmes CAO en mécanique ont deux objectifs majeurs [25]:

- ❖ 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.

1.10 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.

A decorative frame resembling a scroll, with a vertical bar on the left and a horizontal bar at the top. The top corners are rounded and feature a grey scroll-like detail.

Chapitre 2:
Traitement de masse finition
vibratoire et possibilités
technologiques

2 Chapitre 2: Traitement de masse finition vibratoire et possibilités technologiques

2.1 Origine du traitement

Le traitement de masse finition vibratoire est issu de la technologie de masse finition (TMF). Cette dernière s'est inspirée de la nature où l'écoulement constant de l'eau transforme les pierres brutes en cailloux parfaitement polis, voire la figure II.1. Ce procédé de traitement de surface ne possédant aucun impact environnemental offre encore plus d'avantages par rapport aux autres traitements de surface traditionnels [26].



Fig. II.1 Origine du traitement [26]

2.2 Introduction à la masse finition

La gestion d'ingénierie a besoin de savoir comment une finition de haute qualité du métal peut être réalisée, comment sélectionner les caractéristiques appropriées pour un procédé donné, et la façon de contrôler les rejets de produits pour s'assurer qu'ils respectent les normes. En même temps, la gestion doit être assurée que ce savoir-faire est basé sur des principes d'ingénierie acoustique bien établis et intègre un facteur raisonnable de sécurité.

Puisque la qualité de finition est liée à l'état de surface, donc il est logique d'examiner la préparation de surface et l'amélioration des méthodes de masse finition [27]. La technologie de Masse Finition (TMF) peut améliorer économiquement l'utilité, l'attractivité et la valeur du métal, plastique, céramique ou autres pièces fabriquées pour un usage industriel ou de consommation.

Les avantages comprennent un montage plus facile, une performance opérationnelle améliorée, une résistance accrue (par l'élimination des concentrations de contraintes de surface), et une plus grande longévité [28]. En transmettant, des contraintes de compression à la surface et la résistance à la fatigue peuvent être améliorées.

Les TMF peuvent développer des surfaces métalliques actives, généralement avec des modèles accidentels de l'éraflure. Sur de telles surfaces du métal il est possible de réagir à des produits chimiques, de plaquer, adhérer la peinture, de les anodiser, les phosphater, les chromater ou de les colorer efficacement.

2.3 Nature et paramètres principaux du TMFV

Le TMFV en fonction des caractéristiques et de la composition des consommables (Medias de Masse Finition Vibratoire (MMFV), solution ou composés de Masse Finition Vibratoire (CMFV)) présente [29] :

- Un traitement mécanique, mécano-chimique ou physico-mécano-chimique d'enlèvement des microparticules de métal ou de ses oxydes.
- Une déformation plastique des micro-inégalités dues à la réciprocité vibrationnelle de la chambre de travail, dans laquelle on introduit les consommables et les pièces à traiter.
- En outre la collision de la masse se réalise sous des angles différents.

Conformément aux méthodes de classification existantes, le TMFV appartient aux méthodes d'usinage. L'introduction des Medias de Masse Finition (MMF), des agents tensioactifs et des solutions chimiques, il peut être attribué aux techniques combinées, notamment, au groupe des méthodes de traitement physico-mécano-chimique. Le TMFV s'amène aux méthodes dynamiques ; et selon la désignation technologique – aux méthodes de traitement sans dimension ; selon le type de l'outil-coupant, rejoint les méthodes de traitement abrasif libre [30].

L'influence acoustique (vibratoire) par rapport aux autres influences englobe toutes les sections ou tout le volume des pièces à traiter. Elle se caractérise par l'influence des ondes de collisions sur les composantes structurales de la matière, en changeant dans ce cas le niveau de contraintes résiduelles, ainsi que l'état énergétique. La vibration et la déformation activent les processus chimiques et physico-chimiques, se déroulant sur la surface d'une partie des MMFV et des pièces à traiter [31].

Donc, 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 [32].

Les TMFV sont basées autour de quatre paramètres clés, qui englobent toutes les variables du traitement [33,28,27,26] :

2.3.1 Le premier paramètre et le plus important est la pièce.

Différentes pièces peuvent être traitées de la même façon (régularité), mais d'autres pièces ont besoin d'un procédé spécifique et de contrôles correspondants. Les variables de commande par rapport à la pièce sont : l'état de surface, la dureté, la quantité de résidus et les dimensions de bavures. Les pièces dont les variables varient d'un lot à l'autre possèdent un impact profond sur le procédé de masse finition [34].



Fig.II.2 Variété de différentes configurations de pièces [34]



Fig. II.3 Instruments de chirurgie et introductions médicales (Biomatériaux) [34]

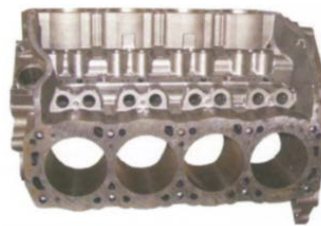


Fig. II.4 Quelques grosses pièces [34]

2.3.2 Le deuxième paramètre est les Médias de Masse Finition (MMF).

Les MMF séparent les pièces pour éviter leurs contacts, ainsi que réalisent le travail principal (c'est-à-dire la micro-coupe). Les MMF portent également le composé ou la solution de la pièce et accèdent à toutes les parties complexes de la surface. Les MMF sont choisis à base de : la fonction d'amélioration de la surface, le type, les dimensions, le matériau et la forme de la pièce [35].



Fig. II.5 Famille de MMFV [35]

2.3.3 Le troisième paramètre de la masse finition est la solution à base de composé où d'eau.

Il est responsable de : nettoyer la pièce et les médias, détacher les médias décomposés et les morceaux endommagés de la pièce, éclairer la pièce, fournir l'inhibition. La plupart des composés sont employés à une concentration de plus ou moins de 2% et donc la consistance de l'eau et le pH sont étroitement surveillés [36].



1 MMF à base de céramique 3 composés en liquide 5 6 9 MMF végétale
 2 MMF à base de polymère 4 composés en poudre 7 8 MMF métallique

Fig.II.6 Consommables de la technologie de masse finition (TMF) [36]

2.3.4 Le quatrième et le dernier paramètre est l'équipement de masse finition.

Il existe de nombreux types d'équipements, qui traitent la pièce avec une action, agressivité et finition différentes. Chacun de ces éléments de masse finition attribue ses propres variables, mais la relation de chacun est essentielle pour l'ensemble du procédé. Une fois que les fonctions convoitées sont déterminées, le procédé de traitement peut alors être démarré [37].



Fig. II.7 Machine vibratoire d'une chambre en forme circulaire [37]



Fig. II.8 Machine vibratoire d'une chambre en forme linéaire [37]

2.4 Bref historique de l'évolution de la machine vibratoire

"Il n'y a rien dans le monde plus fort que d'idées, pour laquelle le temps est venu : vraiment s'il y survient des décisions technologiques plus parfaites, il est impossible de les arrêter " [38]. Cette phrase est la perception de l'un des principaux fabricants mondiaux de l'équipement vibratoire.

Notamment aujourd'hui le temps est venu, quand sans qualité de finition des pièces il est impossible de sortir sur le marché fortement concurrentiel. La qualité des opérations de finition dépend non seulement sur l'aspect extérieur du produit, mais aussi sur les résultats obtenus des propriétés fonctionnelles de pièces.

Une des premières mentions des équipements vibratoires, pour la réalisation des diverses opérations on utilisait la vibration [39], est trouvée dans la revue " The London Journal of Arts, Sciences and Manufactures, and Repertory of Patent Inventions//Conduit par Mr. W. Newton [40] - London, 1849. - Vol. XXXIV".

Aujourd'hui, il est possible de faire une large analyse des élaborations dans la branche des technologies vibratoires, en utilisant le réseau européen des bases de données de brevet. Les résultats reçus par une telle voie donnent la possibilité authentique de se persuader

l'existence de la technique déclarée, ses inventeurs et la branche industrielle, dans laquelle cette technologie était appliquée pour la première fois [41].

Au XIX siècle et avec le développement de l'industrie on observe l'attention augmentée vers l'utilisation de la vibration dans de diverses branches. Ainsi, par exemple, l'inventeur anglais John Laidlaw [42] dans son brevet № 5389 (GB) “ Improvement in Kilns for Drying Grain and other Material ” (demande de 1897), a proposé un transporteur vibratoire pour déplacer des matériaux en grains, hypothétiquement le charbon.

Presque à la même période une idée semblable apparaît chez un ingénieur français Pierre Lejeune [43] en 1898, qui a appliqué cette technologie pour le tri et le déplacement du minerai d'or, ce qui est certifié par le brevet “Improved Apparatus for Sorting or Separating Pulverulent or Granular Substances, more particularly applicable for Extracting : Gold from Auriferous Earth and like”. En effet, à cette époque-là l'application de telles décisions contribuait à l'augmentation de la productivité des minéraux.

À partir de 1909, dans le domaine de l'industrie apparait une machine pour traitement de finition, prétendant sur le prototype de la machine vibratoire actuelle. Son concepteur est James Johnson, [44] proposant de traiter des pièces dans le container avec le sable (brevet № 190925134 “ Improvements in Sand Blast Machines ”).

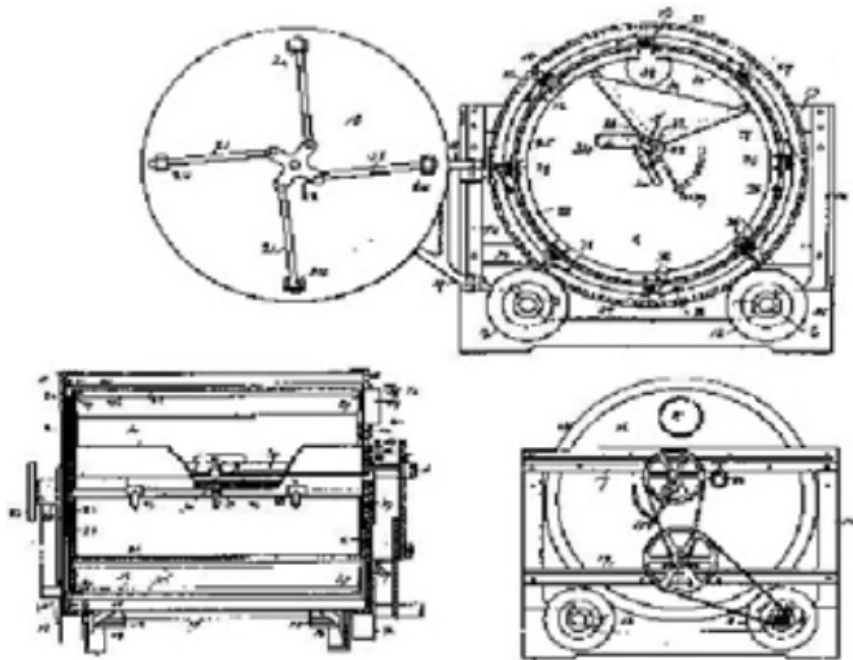


Fig. II.9 Machine pour malaxage [44]

Le traitement se passait dans un container tournant voir la figure II.9. Celle-ci et quelques constructions ultérieures, telle que, par exemple, décrivait dans le brevet de **William Vincent Hobkirk** [45] №191503207“ Improvements in and relating to Covers or Guards for Mixing and like Machines ”, publié en 1915 voir la figure II.10, se distinguaient de la machine vibratoire par la présence du lien cinématique rigide entre les organes de travail et l'absence du vibro-excitateur.

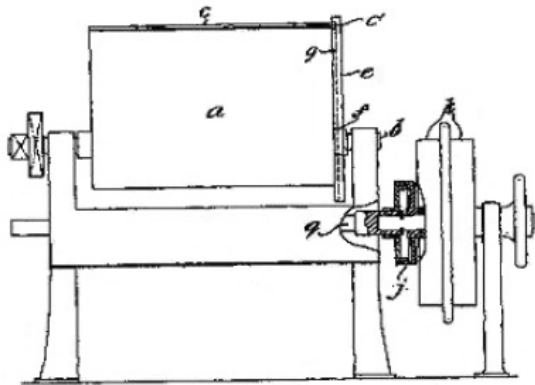


Fig. II.10 Vue générale de la machine [45]

Les brevets énumérés ci-dessus ne décrivaient pas encore la machine vibratoire, destinée au traitement de finition des matériaux. Ces équipements étaient déjà utilisés dans le domaine de l'agriculture et appliqués pour l'industrie des métaux, comme le traitement au tonneau. Le passage à la machine vibratoire est devenu possible lorsque **Gates Philetus** [46] en 1919 a proposé un des premiers modèles du vibreur qui a reçu le nom “ vibro-excitateur ou vibreur ” par la suite – brevet № 1486486 “Vibrator” voir figure II.11.

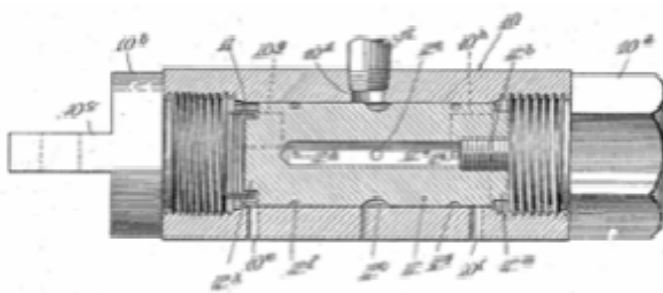


Fig. II.11 Vibreur [46]

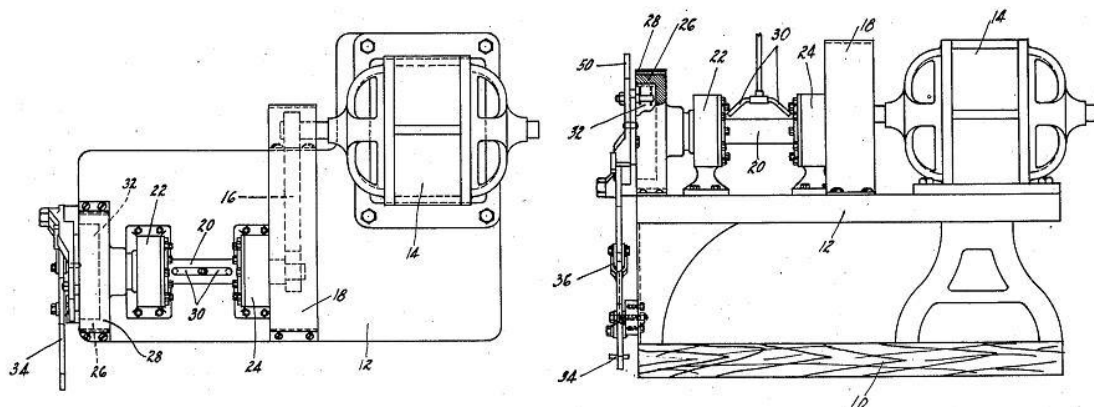


Fig. II.12 Vibro-exciteur [61]

Cependant, la construction proposée du principal organe de travail de la machine vibratoire, c'est-à-dire le vibro-exciteur, n'est pas devenue répandue, mais a donné un coup au développement de tout le parc moderne des machines vibratoires. Vibro-exciteur a retrouvé son aspect habituel moderne seulement en 1927 grâce à l'ingénieur Stanley Whitworth [47].

Il a proposé une construction de commande motrice, qui comprenait le moteur 14, le couple moteur de laquelle était transmis à l'aide d'une transmission à courroie 16 sur vibro-exciteur, concevant de l'arbre 20 avec une came excitatrice 30 disposé sur ce dernier (figure II.12).

En 1939 la date de l'apparition d'une idée d'ingénierie révolutionnaire pour l'invention N° 2222777 (US) “ Gyratory washer ” [48] qui proposait une machine sans lien cinématique rigide. Comme le montre la figure II.13, l'investigateur non seulement a proposé d'établir un container sur les ressorts 6, mais aussi a accordé l'attention à la forme du container.

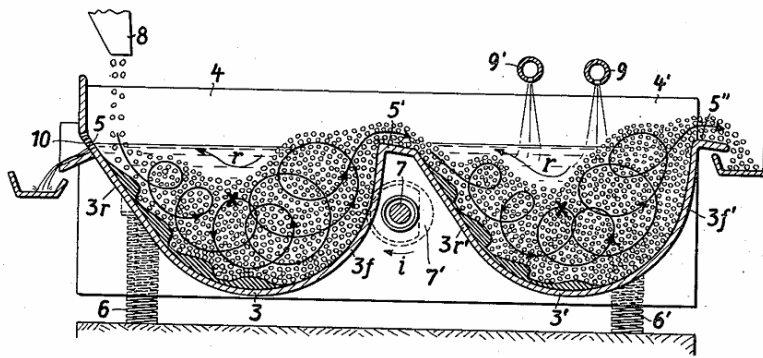


Fig. II.13 Machine pour lavage des petites pièces [48]

La technique déclarée auparavant du traitement dans des containers était changée, par deux chambres oscillatoires synchronisées et séparées, comme le montre la figure II.14. Ainsi, on déclarait pour la première fois la forme U du container, utilisée dans pour la construction moderne des machines vibratoires et les méthodes de traitement, supposant le mouvement des pièces dans milieu d'abrasif libre. La machine vibratoire dans le temps a reçu pratiquement une présentation moderne.

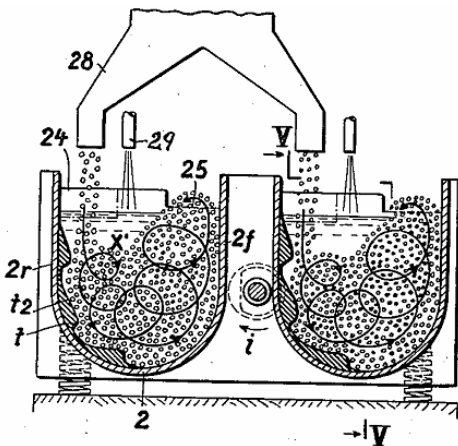


Fig. II.14 Machine vibratoire avec deux chambres de travail en forme U [48]

Gérard Linke [49] dans ses recherches a accordé une très grande attention au mouvement des granules dans la chambre, voire la figure II.15. À son avis, la forme U de la chambre est plus favorable. Les recherches expérimentales et théoriques modernes ont aussi confirmé son appréciation [50-51].

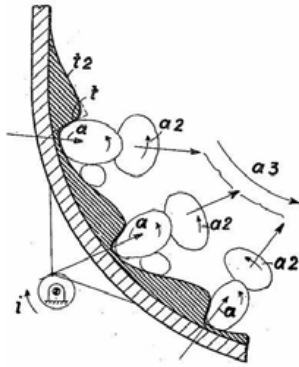


Fig. II.15 Mouvement des granules dans une chambre de forme U [49]

Les développements sur l'amélioration de la conception étaient conduits en 1940, comme le montre le brevet № 698845 (DE) "Vorrichtung zum Waschen von Erz u. dgl."

La fin des années 50 et début des années 60 c'est la période de l'apparition de plusieurs sociétés et entreprises, qui s'occupaient seulement de la production des équipements vibratoires tels que : Roto Finish Co, Lord Chemical Corp., Bell Intercontinental Corp., Mumford Molding Machine Co, Almco Supersheen Co., Geigy Chem Corp., Max Spaleck GMBH, Kloeckner Humboldt Deutz, Productive Equipment Corp., Pangborn Corp, Walther Technik Co, King Seeley Thermos Co, Boeing Co, Syntron Co, Carborundum Co, Link Belt Co, Ultramatic Equipment Co Inc., et autres.

En 1961, les investigateurs développaient une machine pour traitement vibratoire de finition des pièces, présentée sur la figure II.16 (brevet № 2997813 (US) "Apparatus for precision finishing of parts and objects by controlled vibration" - corporation Lord Chemical [68], William Brant [52]). Cette construction correspondait entièrement à la machine vibratoire moderne. La compagnie a proposé encore quelques conceptions ; la machine est montrée sur la figure II.17 (brevet № 1137975 (DE) "Maschine zum Scheuern und Polieren von Gegenstaenden").

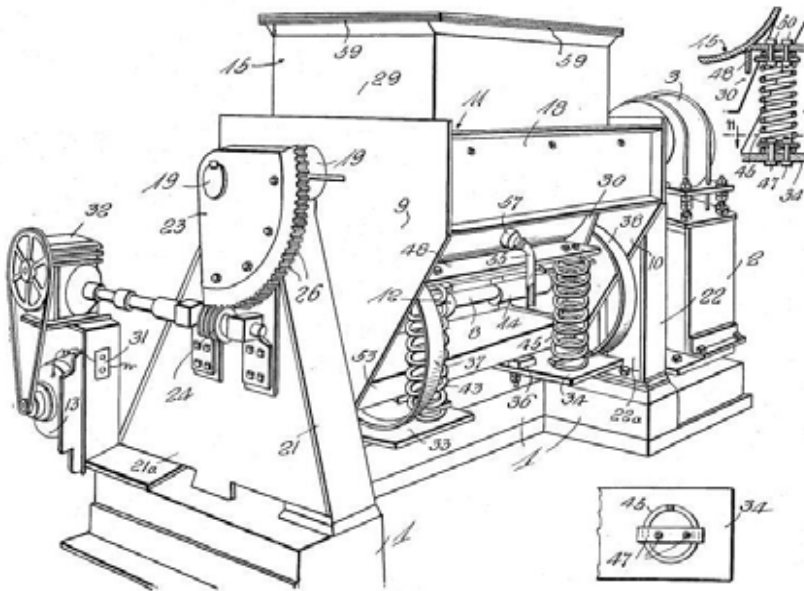


Fig. II.16 Équipement vibratoire [52]

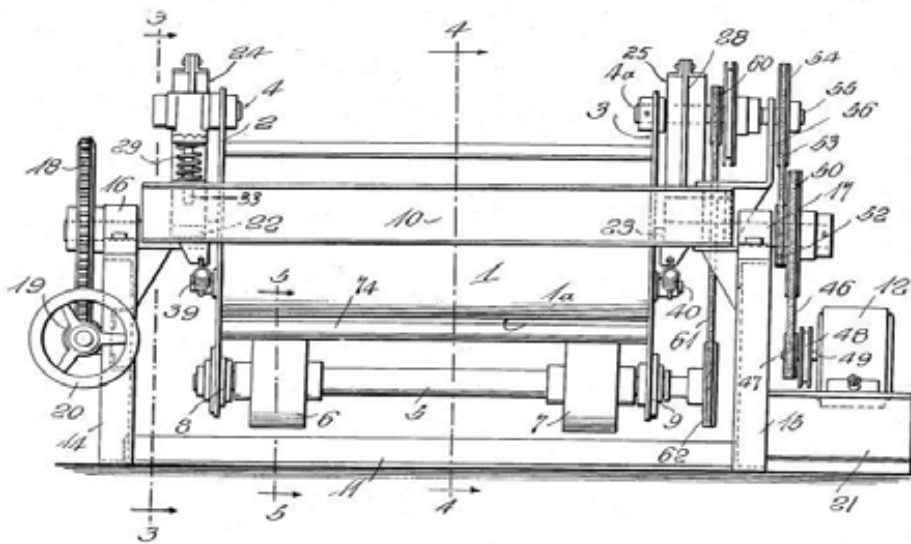
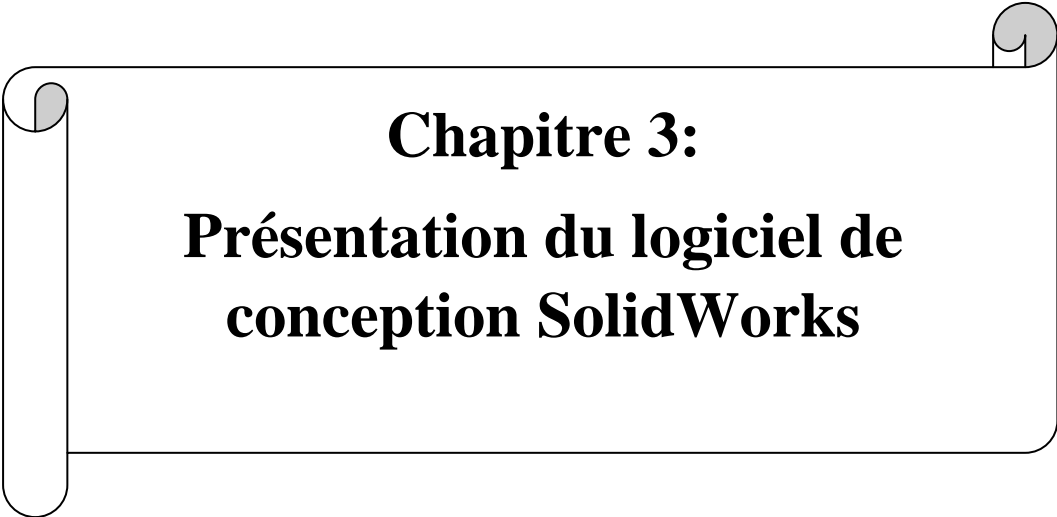


Fig. II.17 Équipement vibratoire [52]

On peut dire et conclure que l'année 1963 est l'année de la forme finale et définitive de la machine vibratoire actuelle. L'ère d'une industrie économique et sans aucun impact environnemental vient de commencer.



Chapitre 3:
**Présentation du logiciel de
conception SolidWorks**

3 Chapitre 3: Présentation du logiciel de conception SolidWorks

3.1 Introduction

Ce chapitre sera consacré à la présentation du logiciel de conception SolidWorks, ou dans notre mémoire nous avons utilisé SolidWorks 2015, ainsi nous donnons un rappel sur l'utilisation de ce logiciel d'une façon générale avant de passer à la modélisation des pièces composants la machine vibratoire et l'assemblage de ces dernières dans les prochains chapitres.

SolidWorks CAO 3D offre des fonctionnalités à la fois faciles à maîtriser et extrêmement puissantes, qui raccourcissent les délais de développement de produits, réduisent les coûts et améliorent la qualité [53].

3.2 Choix de l'outil informatique de CAO

Pour la modélisation géométrique (conception assistée par ordinateur) des différentes pièces de la machine de masse finition vibratoire, nous avons utilisé le logiciel de CAO SolidWorks 2015 à cause de la disponibilité de ce dernier et les connaissances acquises durant notre formation.

Plus de 6 millions d'ingénieurs dans le monde font confiance chaque jour au logiciel SolidWorks pour transformer avec succès leurs idées innovantes en projets. En choisissant de travailler avec SolidWorks, nous améliorons de manière substantielle notre processus de développement et de fabrication de produits et réduisons les délais de développement ainsi que les coûts.

Le logiciel CAO 3D constitue la base de toute la suite de solutions de développement de produits SolidWorks: elle couvre la conception, la simulation, l'estimation des coûts, les vérifications de fabricabilité, la FAO, la conception éco-responsable et la gestion des données [54].

3.2.1 Motivations du choix du logiciel SolidWorks

Les travaux présentés dans ce mémoire s'inscrivent fondamentalement dans le contexte de caractérisation, moyennant les techniques et les fonctionnalités de la CAO, de différents critères de performance des machines vibratoires ayant des structures différentes :

- Les formes de la chambre de travail,
- Les éléments flexibles et les moyens de leurs fixations.

Nous étudions l'environnement de travail, les zones de fonctionnement dans la chambre de travail, la parcourabilité dans la chambre de travail pouvant se définir par la possibilité d'établir des trajectoires qui ne franchissent pas des configurations de la chambre de travail, 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.

Les approches et les techniques qui seront proposées ont pour objectif d'analyser, d'un point de vue cinématique, les différentes caractéristiques opérationnelles de la machine vibratoire. Ces analyses nous aident considérablement à approfondir nos connaissances sur les différentes possibilités permettant de mieux exploiter l'espace de travail des machines vibratoires.

Notre travail vise également à proposer de nouvelles représentations de l'espace de travail nouveau en Algérie et atteignable par la machine vibratoire avec une chambre en forme circulaire. 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 et fonctions souhaitées, telles que les opérations de (intersection, association, démonstration, etc.).

En outre, nous avons besoin pour remplir ces objectifs, notamment pour les problèmes liés à l'analyse des trajectoires de l'ensemble se trouvant dans la chambre de travail, de modules qui nous donnent les possibilités d'étudier le fonctionnement de la machine vibratoire.

3.3 Les avantages de SolidWorks CAO 3D [55].

- **Réduction du délai de mise sur le marché** : Mettre les innovations plus rapidement sur le marché en réalisant des tâches simultanées.
- **Analyse de coûts** : Avoir un aperçu des coûts de produit ou projet tout au long du processus de conception.
- **Automatisation des tâches répétitives** : Accélération du processus de conception.
- **Vérification de conception** : Disponible à chaque étape du processus, pour épargner des coûts de prototypes.
- **Collaboration aisée** : Au sein de l'écosystème SolidWorks, toutes les disciplines (mécanique, électrique, etc.) collaborent facilement.
- **Mises en plan 2D** : Réalisées facilement sur base du modèle 3D pour contrôler le produit.
- **Accès à des bibliothèques en ligne** : Modélisation plus rapide lorsqu'un projet adapté existant dans une bibliothèque SolidWorks.
- **Réalité virtuelle et réalité augmentée** : Expérimente les projets en les visualisant en réalité virtuelle ou augmentée.
- **Application FAO SOLIDWORKS CAM intégrée** : Directement intégré dans chaque package SolidWorks.

3.4 Présentation de SolidWorks

Le logiciel de conception mécanique SolidWorks est un outil de conception de modélisation volumique paramétré, basé sur des fonctions, qui tire parti des fonctionnalités de Windows TM, connu pour sa convivialité. On peut créer des modèles volumiques 3D entièrement intégrés avec ou sans contraintes tout en utilisant des relations automatiques ou définies par l'utilisateur pour saisir l'intention de conception.

Un modèle SolidWorks est entièrement intégré par rapport aux mises en plan et aux assemblages qui le référencent. Les changements introduits dans le modèle sont entièrement reflétés dans les mises en plan et les assemblages qui lui sont associés. Inversement si on effectue des changements dans le contexte d'une mise en plan ou d'un assemblage, ces changements sont reflétés dans le modèle [56].

Les relations géométriques telles que les relations parallèles, perpendiculaires, horizontales, verticales, concentriques et coïncidentes sont des exemples des contraintes supportées par SolidWorks. Des équations peuvent également être utilisées pour établir des

relations mathématiques entre les paramètres. Par ces moyens on peut garantir que des concepts seront établis et conservés.

3.4.1 Historique

En 1993, trois ingénieurs de B.T.C ont créé un logiciel de CAO de la génération des modèles 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.

3.4.2 Fonctionnement

SolidWorks est un modèleur 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 (voir figure III.1). Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés.

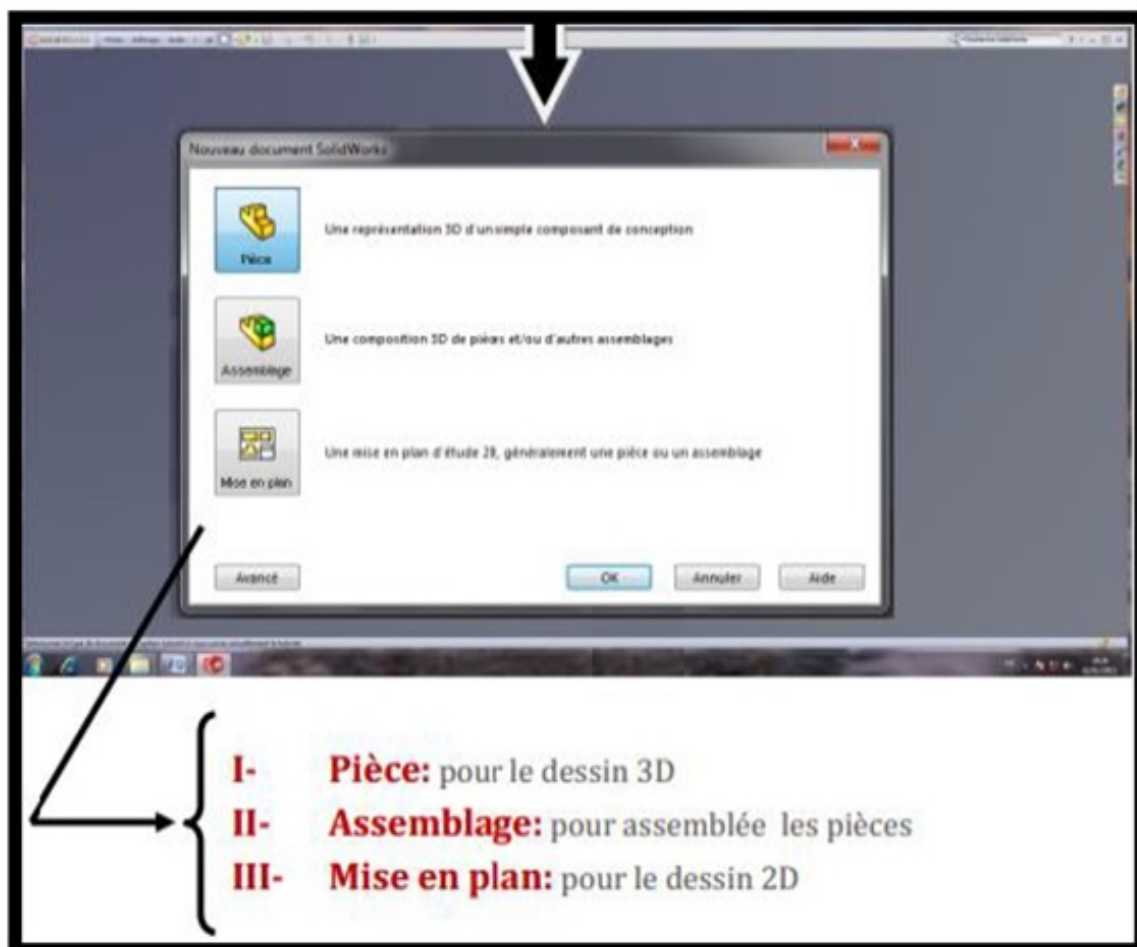


Fig. III.1 Créer ou ouvrir un fichier SolidWorks

3.4.2.1 Conception des pièces

Les pièces se conforment à partir d'une esquisse dessinée sur un plan. Cette esquisse 2D est obtenue par des formes géométriques simples comme lignes et cercles. Une fois l'esquisse prête, le logiciel offre plusieurs fonctions à exécuter. On peut la prolonger vers une direction (extrusion), la faire tourner autour d'un axe ou réaliser plusieurs autres opérations.

Le dessin est paramétré, c'est-à-dire qu'on peut modéliser la forme souhaitée sans se préoccuper des dimensions exactes. Les dimensions des différentes pièces peuvent être liées de façon que lorsqu'une change, les autres changent aussi [56].

3.4.2.2 L'assemblage

À mesure qu'on réalise les pièces, on peut les assembler dans un nouveau fichier qui contiendra seulement les contraintes et rapports qu'on a imposé aux pièces. Les contraintes définissent la position des pièces dans l'ensemble et les liaisons entre elles. On peut donc imposer que deux pièces soient concentriques, que deux surfaces soient coplanaires ou par exemple que la distance entre deux surfaces soit déterminée.

On peut créer un assemblage d'assemblages et comme cela construire des grands ensembles de façon structurée et ordonnée.

3.4.2.3 La mise en plan

Pour que l'atelier puisse réaliser les pièces, il a besoin de plans en 2D plutôt que d'un dessin tridimensionnel dont la cotation serait assez confuse. SolidWorks possède un module capable de projeter des vues de pièces ou d'ensembles sur un plan. Ensuite on peut faire des coupes et d'autres opérations pour mieux représenter la pièce sur le plan.

La cotation est automatique même si elle n'est pas toujours optimisée pour l'usinage. Un changement sur une cote du plan entraîne la modification automatique de cette dimension sur la pièce d'origine et vice-versa.

3.4.3 Lancement

L'écran principal de SolidWorks (voir figure III.2) se présente de la façon suivante :

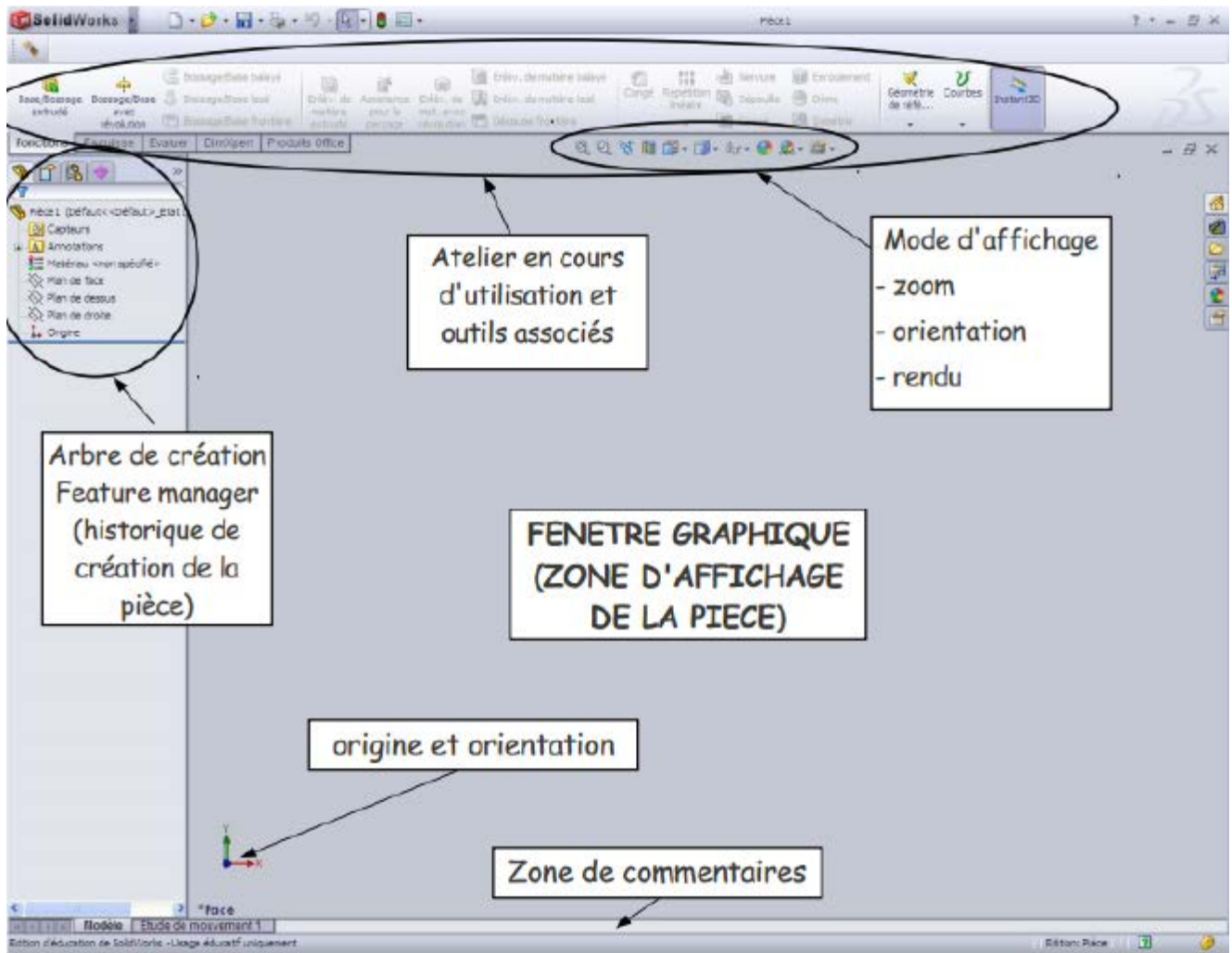


Fig. III.2 Écran principal de SolidWorks

3.4.3.1 Principe général

Le principe général de création d'une pièce volumique dans SolidWorks est de partir d'une esquisse (courbe) tracée en 2D et de lui appliquer une fonction volumique (extrusion, révolution autour d'un axe, balayage, lissage...) (voir figure III.3). D'autres fonctions 3D modifient une géométrie existante (congé, coque, répétition ...).

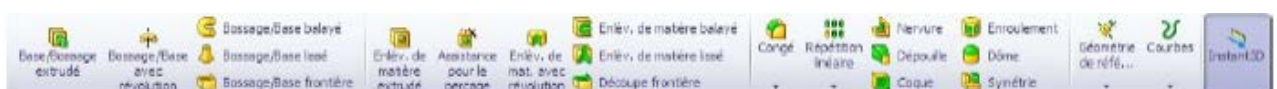


Fig. III.3 Fonctions volumiques de SolidWorks

La mémoire de toutes les opérations effectuées pour définir une pièce est conservée dans l'arbre de création (partie gauche de l'interface) (voir figure III.4).

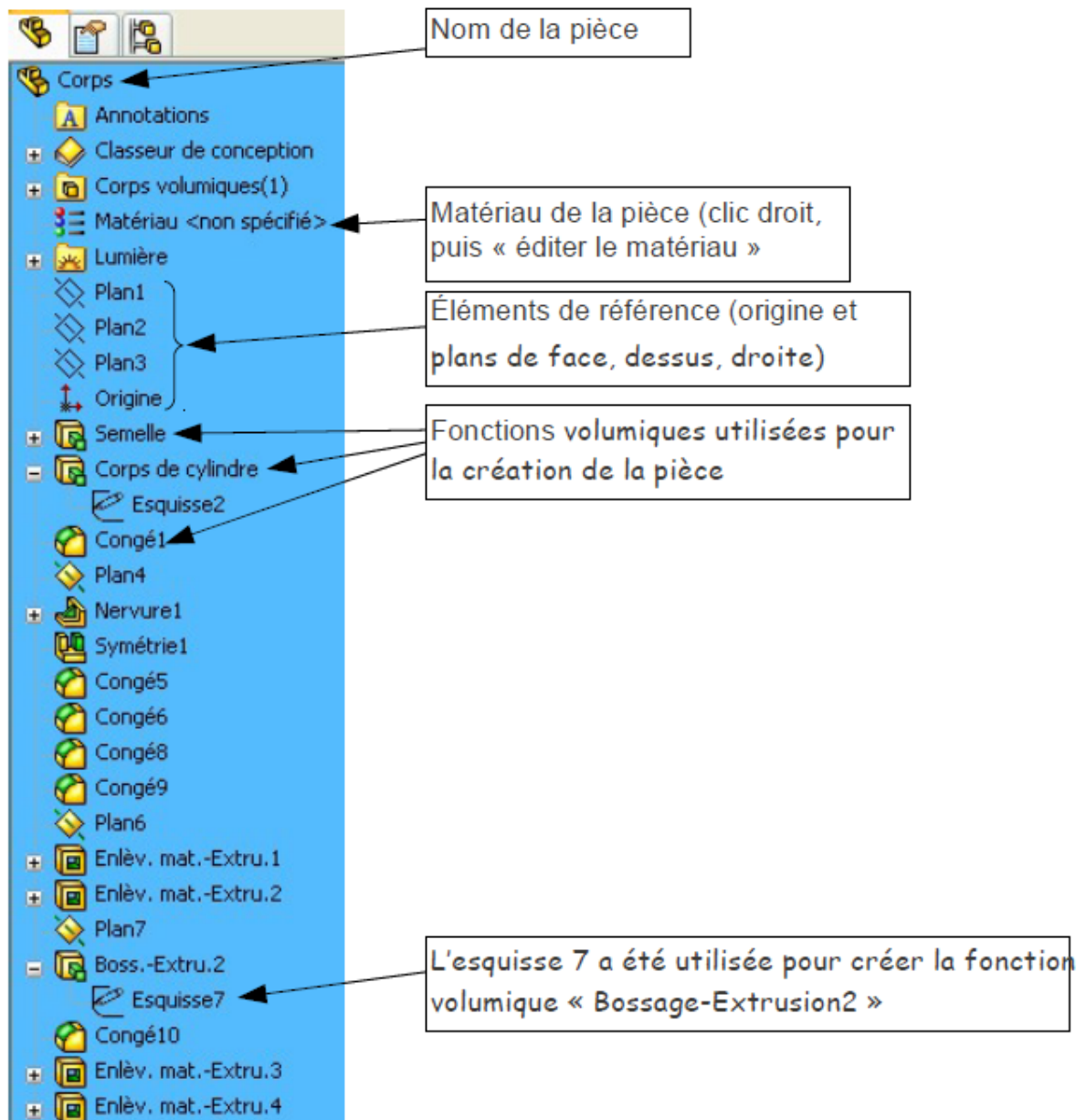


Fig. III.4 Arbre de création des opérations

On peut faire apparaître l'esquisse associée à une fonction en cliquant sur le + à côté du nom de cette fonction. Les différentes fonctions et esquisses peuvent être modifiées, même si de nouvelles fonctions ont été créées ensuite.

La mise à jour se fait automatiquement (nécessite parfois une intervention) sans qu'il soit besoin de redéfinir ces fonctions ultérieures.

3.4.3.2 Créer ou modifier une esquisse

3.4.3.2.1 Choisir le plan dans lequel tracer cette esquisse

Il faut sélectionner ce plan par un clic de souris (voir figure III.5). Ce plan peut-être...

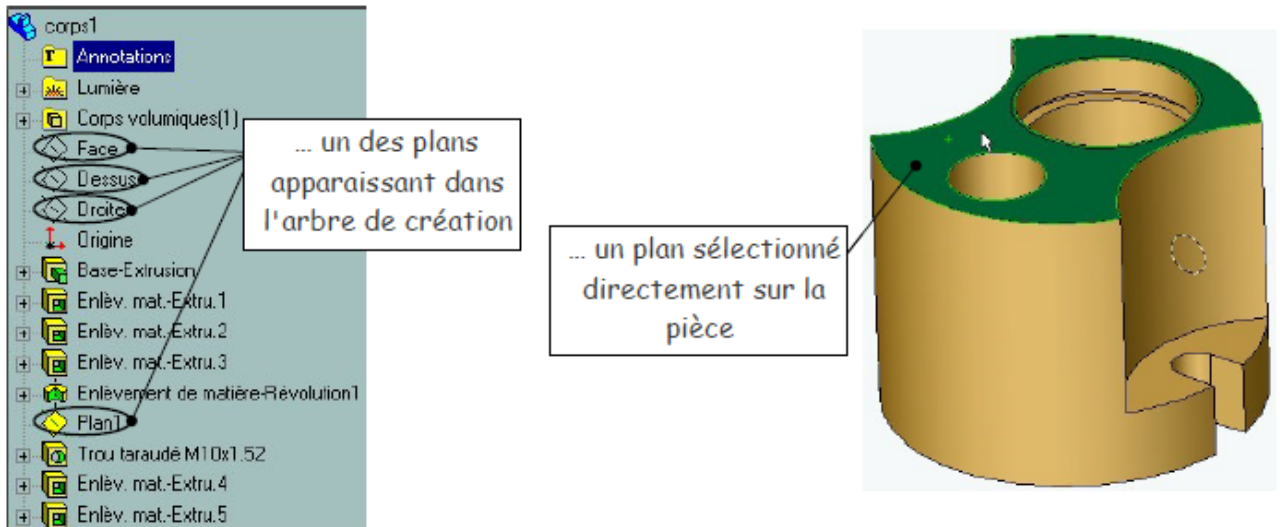



Fig. III.5 Plans d'esquisse

3.4.3.2.2 Ouvrir une esquisse

Cliquer sur l'icône  dans la barre d'outils d'esquisse.

3.4.3.2.3 Tracer l'esquisse

Les tracés se font au moyen des icônes de la barre d'outils d'esquisse (voir figure III.6). Une bulle indiquant la signification de ces icônes apparaît lorsqu'on y laisse le pointeur de la souris (sans cliquer) plus d'une seconde.

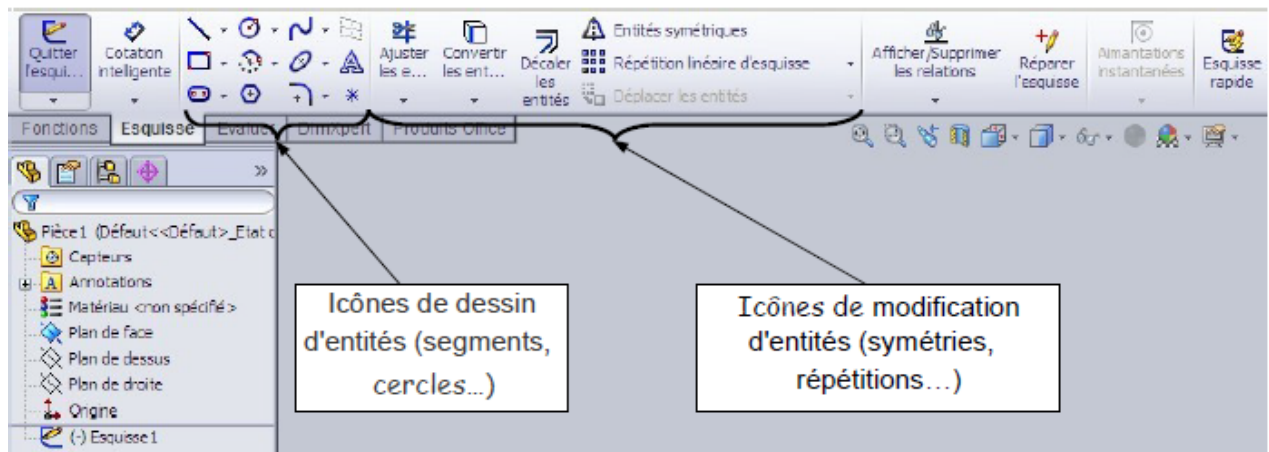









Fig. III.6 Barre d'outils d'esquisse

Lors du tracé des différents éléments composant l'esquisse, SolidWorks prend en compte automatiquement des contraintes géométriques implicites (horizontalité de segments, coïncidence de points...). Ces contraintes apparaissent dans l'esquisse sous forme de symboles    placés à côté des éléments concernés. Leur signification apparaît quand on positionne la souris au-dessus du symbole.

On peut éditer ces contraintes en utilisant l'icône  (barre d'outils d'esquisse) ou en sélectionnant un élément contraint de l'esquisse.

3.4.3.2.4 Contraindre l'esquisse

Il est prudent (voire recommandé...) de figer complètement l'esquisse géométriquement. Pour cela il faut utiliser les icônes  (préciser les dimensions ou angles),  (imposer des contraintes géométriques de parallélisme, perpendicularité, tangence, horizontalité...) et  (examiner les contraintes géométriques existantes) (voir figure III.7).

Lorsque le travail est achevé, on arrive à une esquisse "totalement contrainte". Sinon, l'esquisse est soit "sous-contrainte" (pas assez de relations géométriques) soit "sur contrainte" (relations géométriques redondantes).

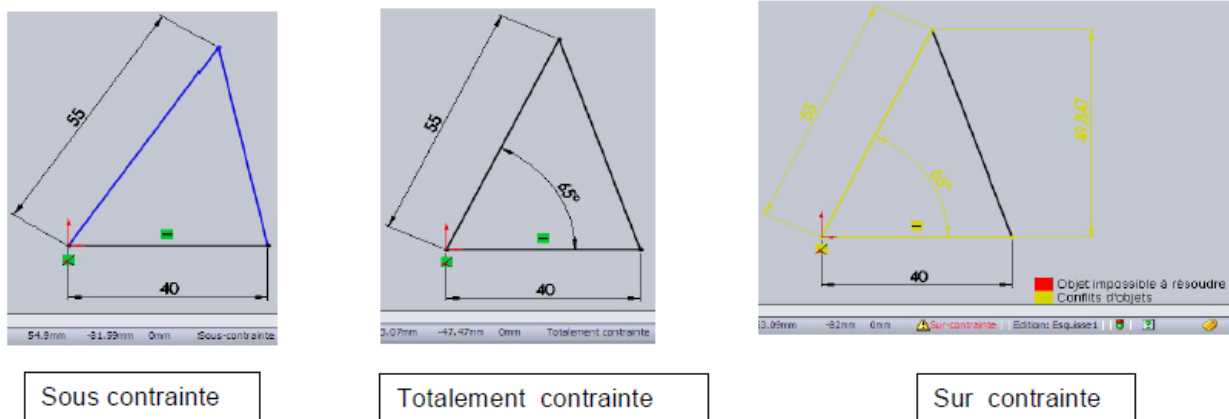


Fig. III.7 Contraintes géométriques existantes

Dans l'esquisse, les entités géométriques apparaissent en bleu si elles sont insuffisamment contraintes, en noir si elles sont totalement contraintes et en rouge ou orange si elles sont surcontraintes.

3.4.3.2.5 Modifier une esquisse

Il suffit pour cela de sélectionner (bouton droit de la souris) l'esquisse en question dans l'arbre de création, puis de choisir "Éditer l'esquisse" (voir figure III.8).

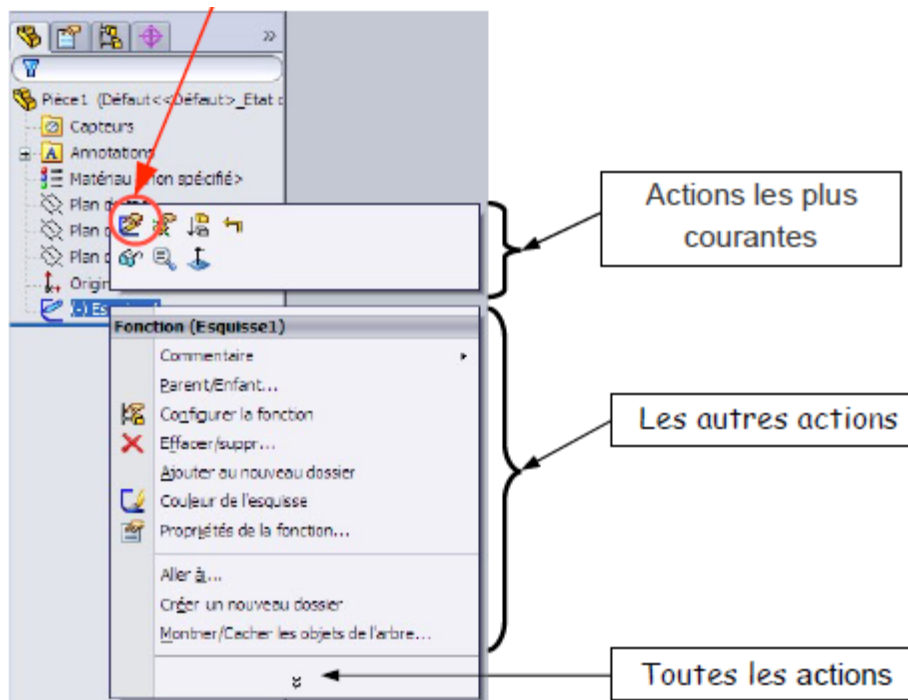


Fig. III.8 Éditer d'esquisse

3.4.3.2.6 Créer un volume par extrusion

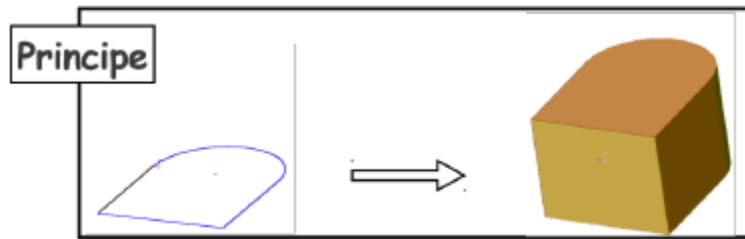



Fig. III.9 Création un volume par extrusion

À la fin de la création d'une esquisse, ou après avoir sélectionné une esquisse dans l'arbre de création, cliquer sur l'icône  (voir figure III.9 et figure III.10).

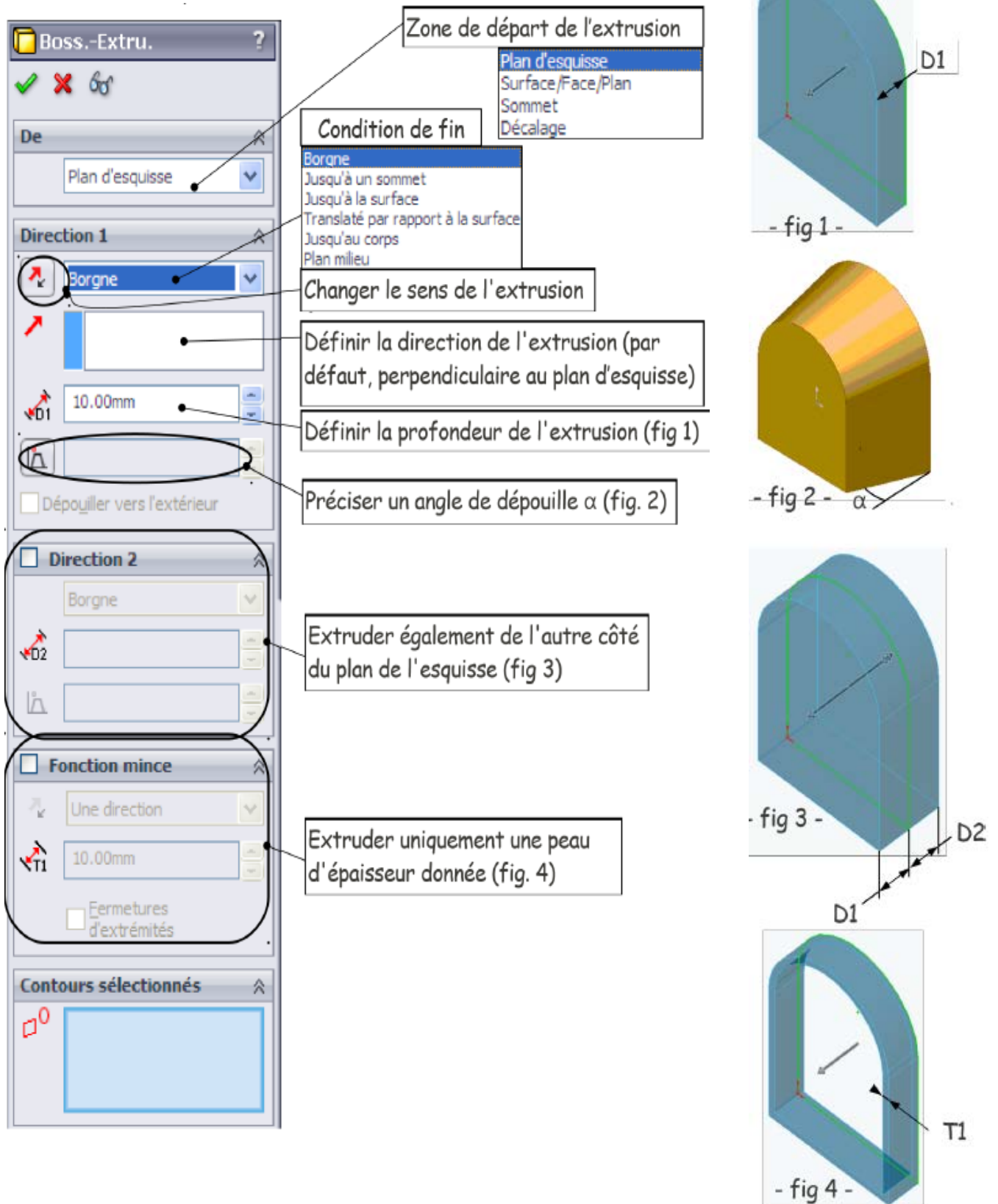



Fig. III.10 Création un volume par extrusion

De même, il est possible de retirer de la matière à une pièce par extrusion : il faut alors choisir l'icône . Les différentes options proposées sont analogues (voir figure III.10).

3.4.3.2.7 Créer un volume par révolution

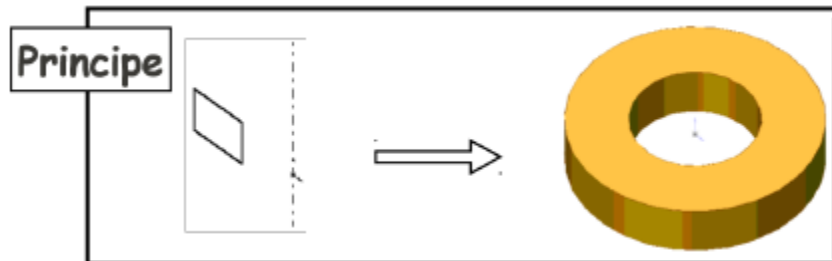



Fig. III.11 Création un volume par révolution

À la fin de la création d'une esquisse, ou après avoir sélectionné une esquisse dans l'arbre de création, cliquer sur l'icône  (voir figure III.11).

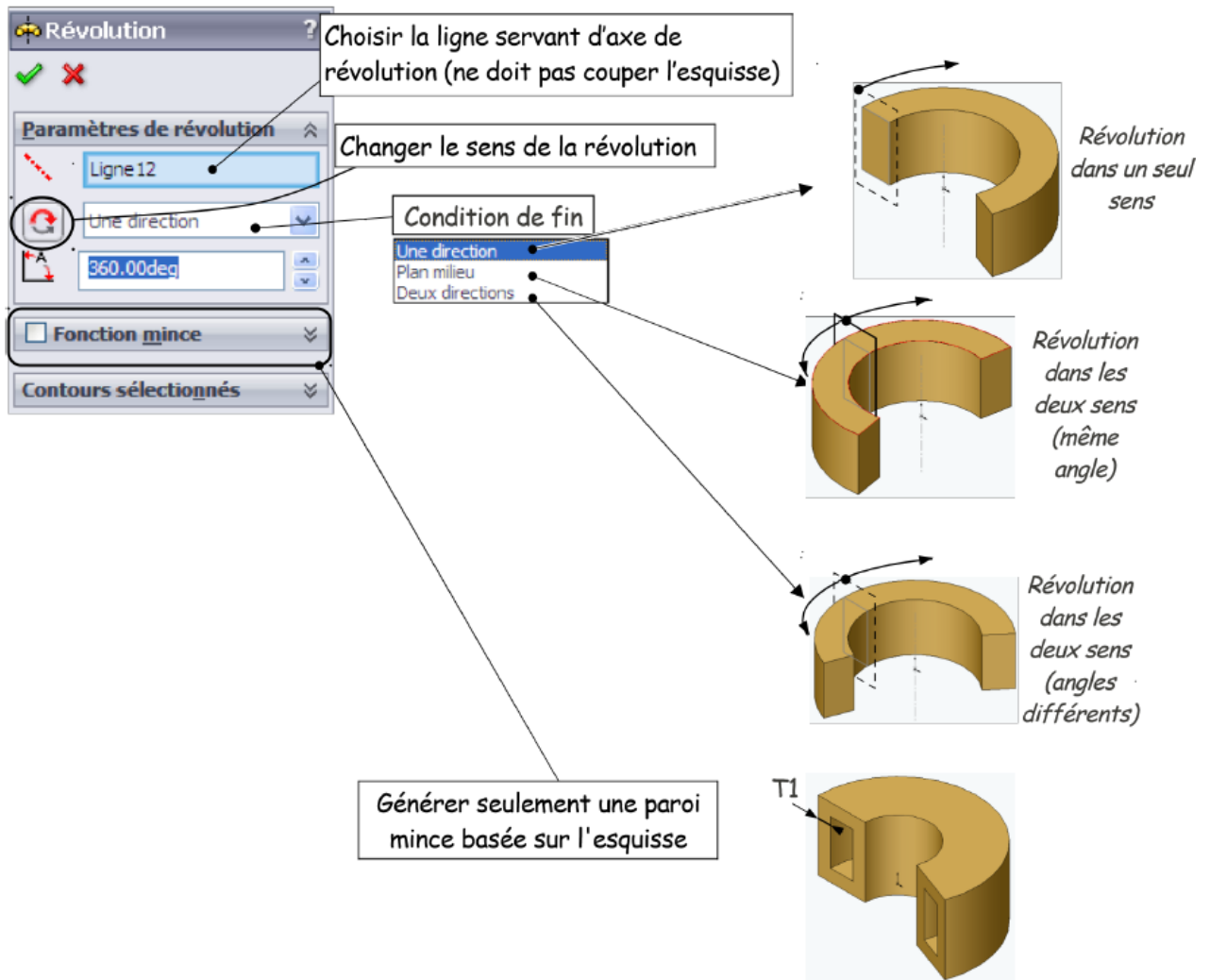

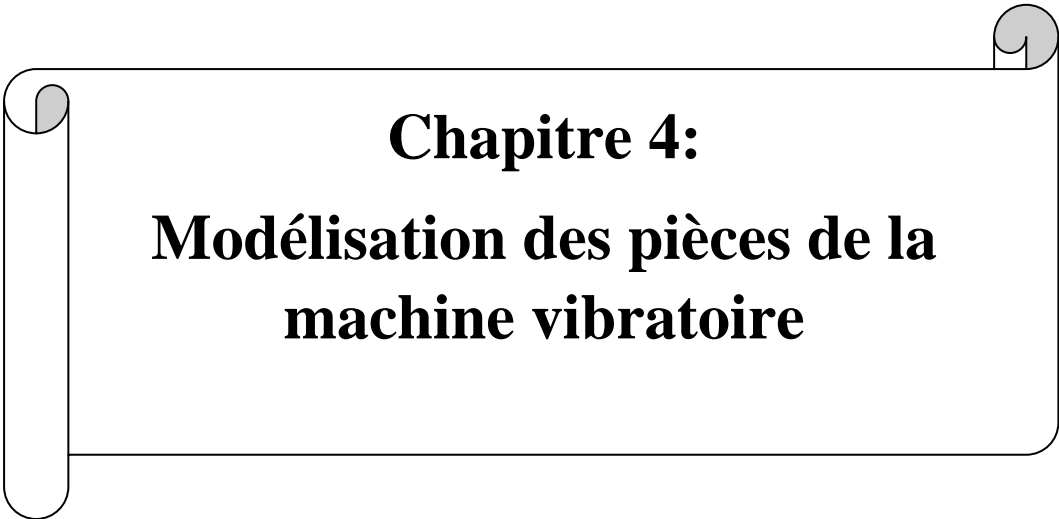


Fig. III.12 Paramètres de révolution

De même, il est possible de retirer de la matière à une pièce par révolution : il faut alors choisir l'icône  (voir figure III.12) . Les différentes options proposées sont analogues.



Chapitre 4:
Modélisation des pièces de la
machine vibratoire

4 Chapitre 4: Modélisation des pièces de la machine vibratoire

4.1 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.

4.2 Modélisation géométrique

4.2.1 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).

4.2.2 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.

4.2.3 Inconvénients

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

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

4.3 Modélisation de la machine vibratoire

4.3.1 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.

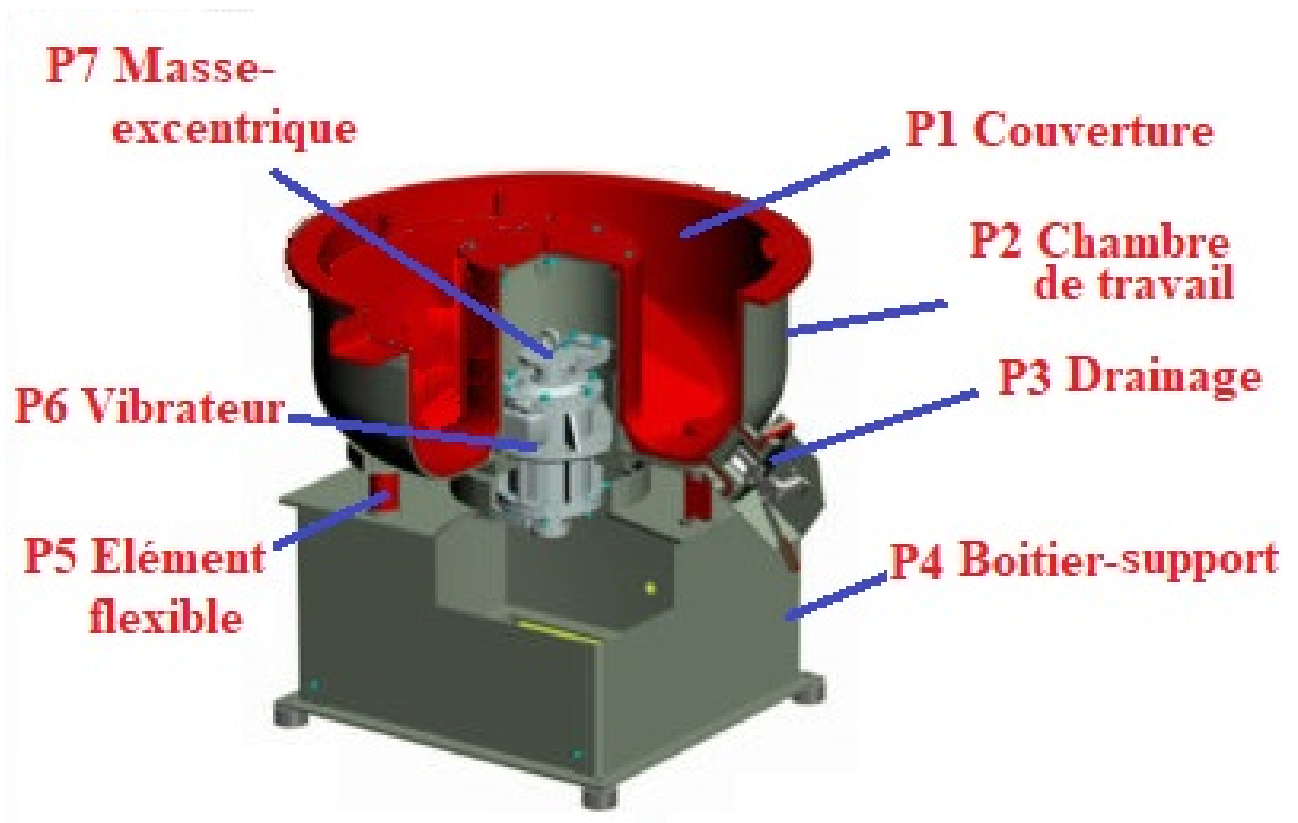


Fig. IV.1 Machine vibratoire avec principales pièces

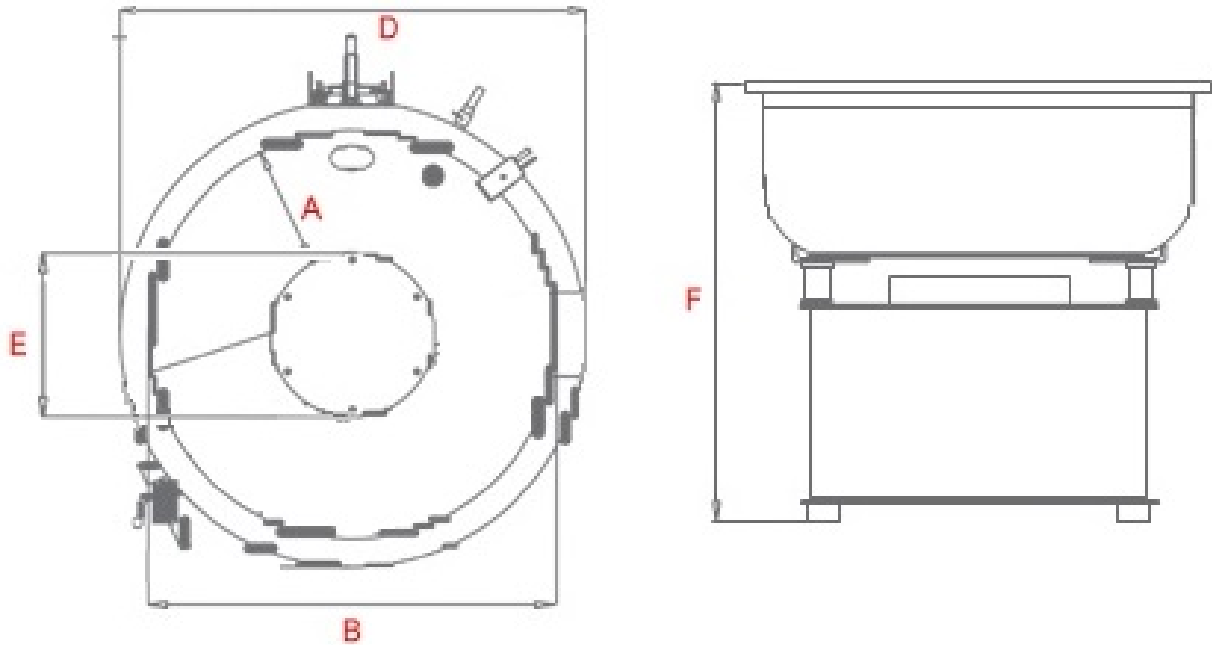


Fig. IV.2 Quelques dimensions de la machine vibratoire

4.3.2 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, 780 mm
- Longueur, 780 mm
- Hauteur, 876 mm
- Poids, 272 kg
- Nombre de tours, 1500 rpm
- Puissance, 0.75 kW

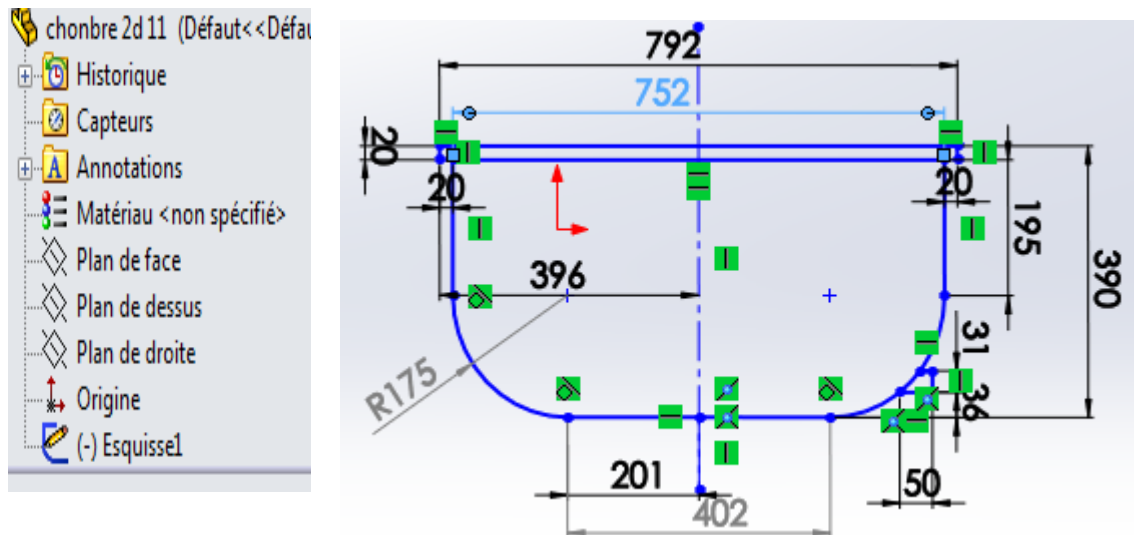
4.4 Modélisation des pièces de la machine vibratoire

La modélisation des pièces se réalise en plusieurs étapes

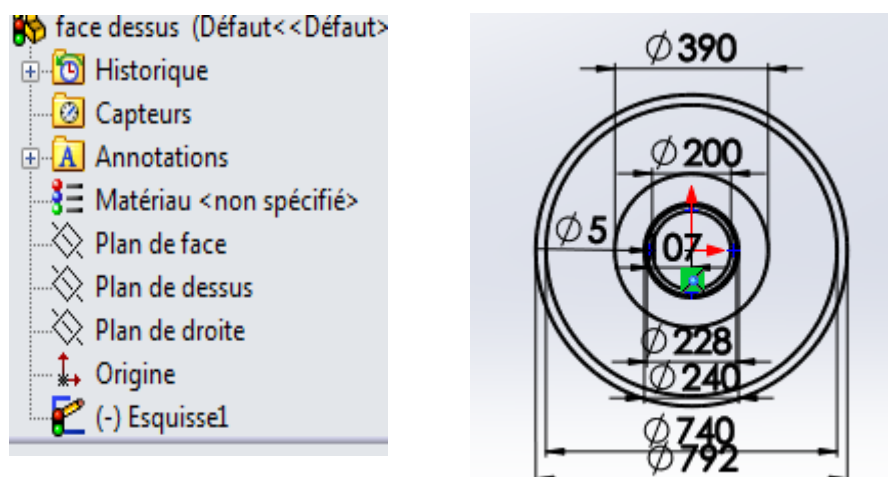
4.4.1 Modélisation de P2 Chambre de travail




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

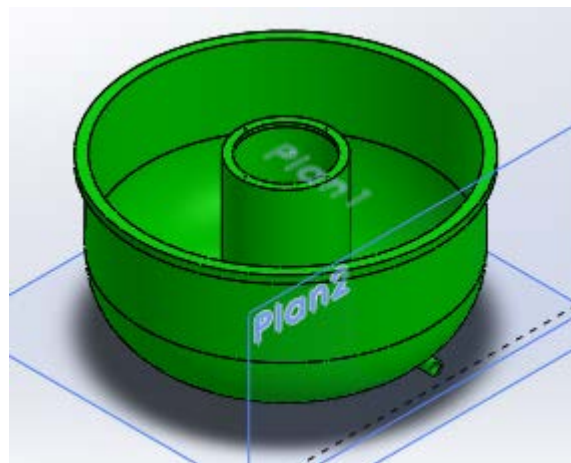
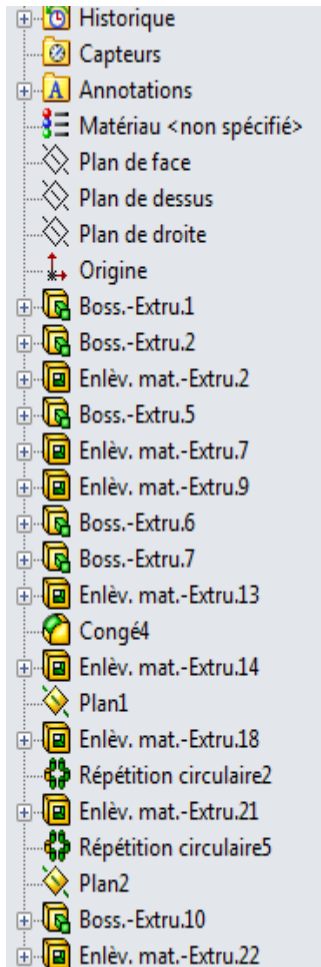
Etape N° 2 Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



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



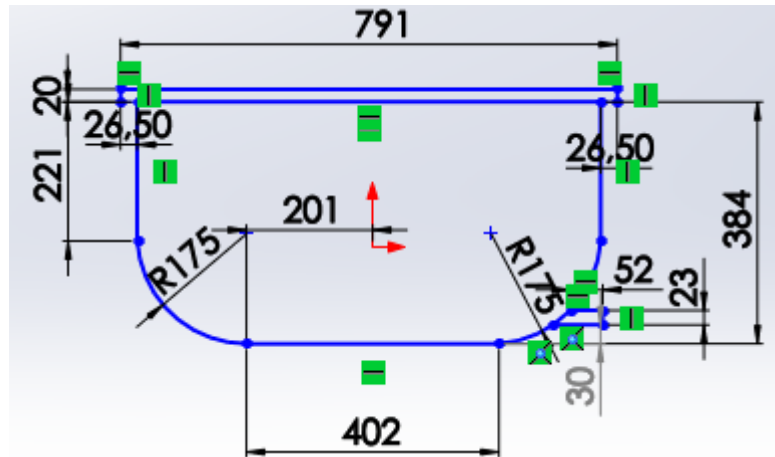
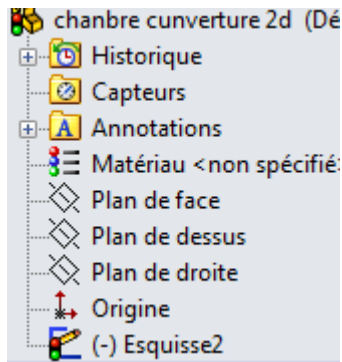
Etape N° 4 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions. il faut alors choisir l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions ,et  répétition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



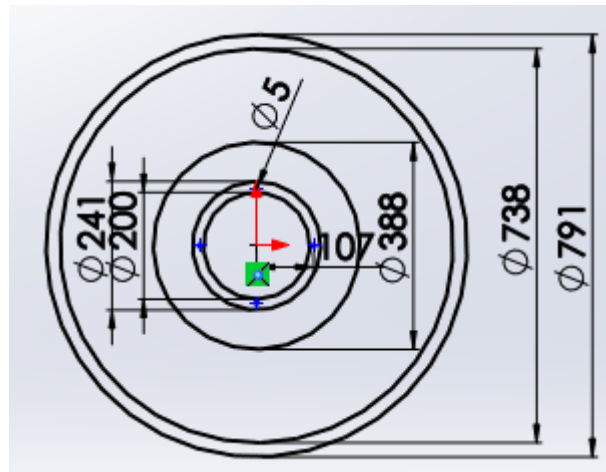
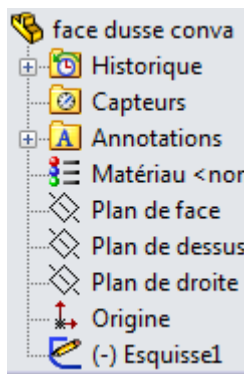
4.4.2 Modélisation de P1 Chambre de couverture




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

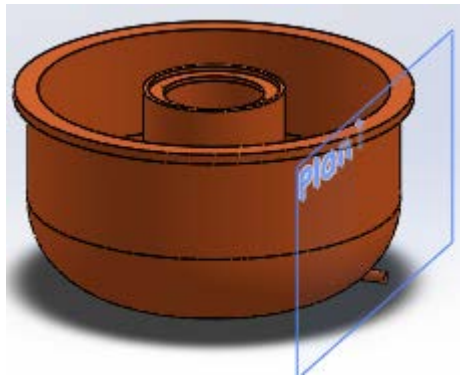
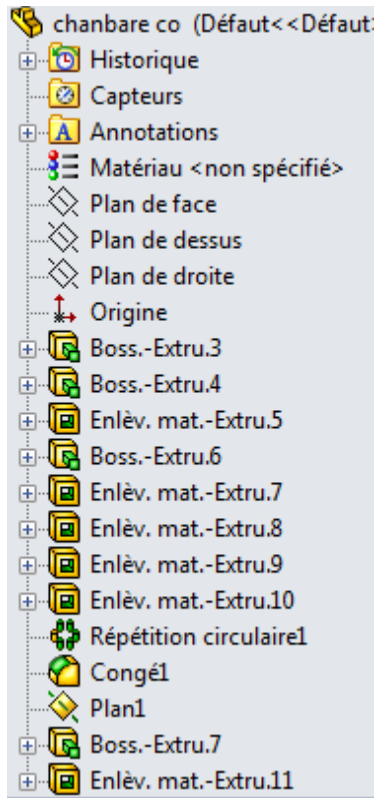
Etape N° 2 Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



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



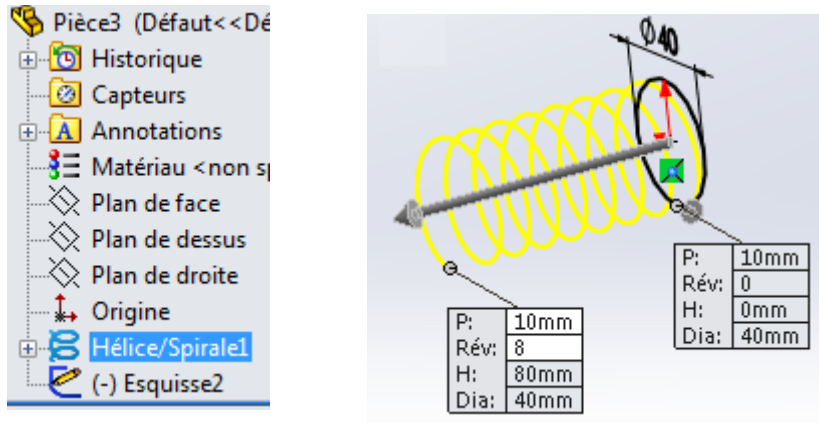
Etape N° 4 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions, il faut alors choisir l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions et l'icône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





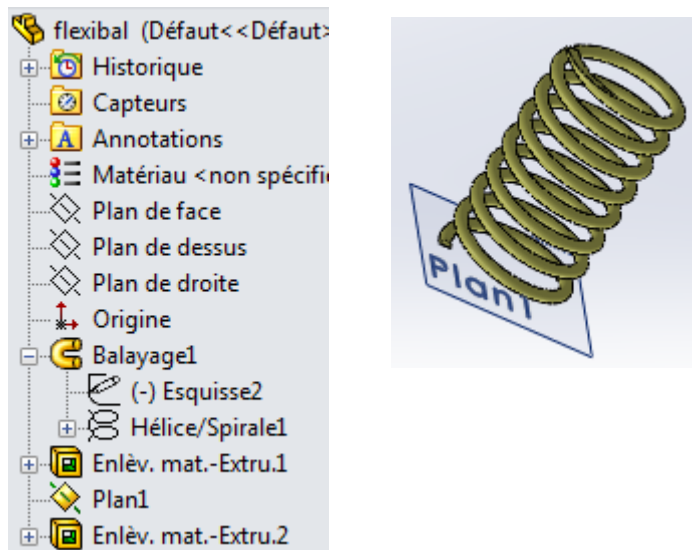
4.4.3 Modélisation de P5 élément flexible

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.



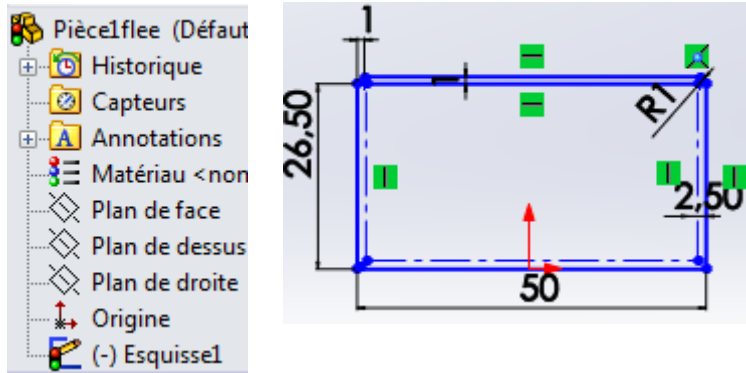
Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Hélice et Spirale, il faut alors choisir l'icône  Créer une fonction volumique en balayant un profil fermé le long d'une trajectoire ouverte ou fermée.



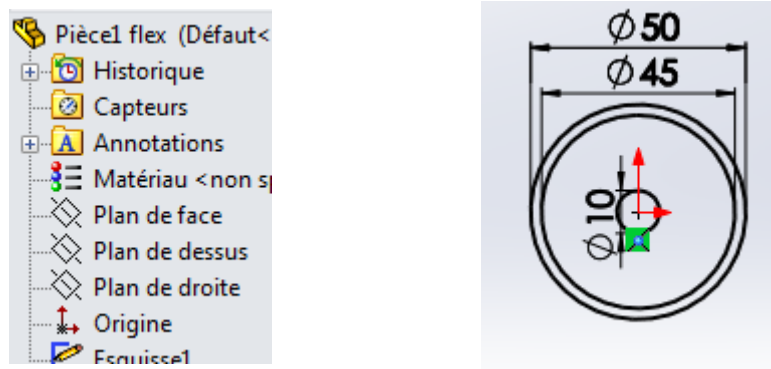
4.4.4 Modélisation d'une cage de l'élément flexible



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

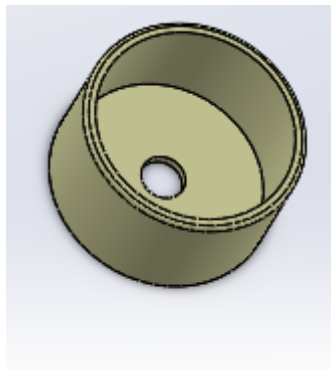
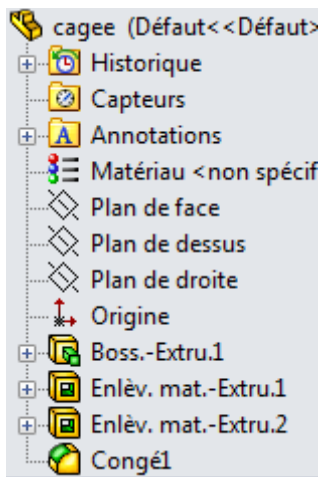
Etape N° 2 Choisir le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



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



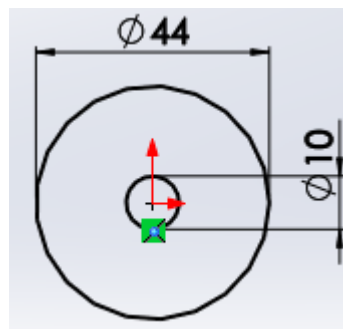
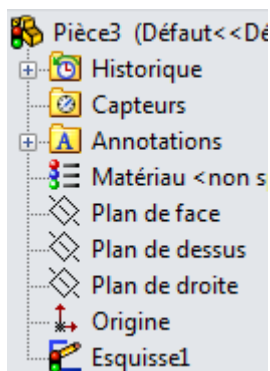
Etape N° 4 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions. Il faut alors choisir l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions.



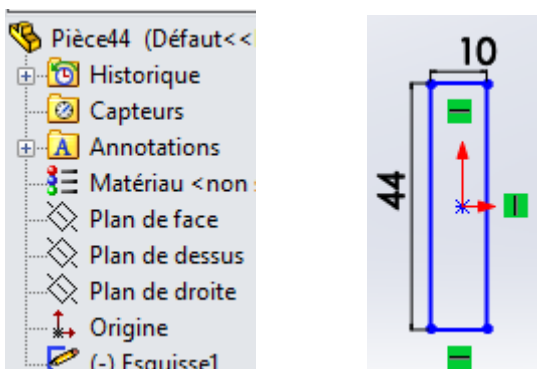
4.4.5 Modélisation des stops bruit



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

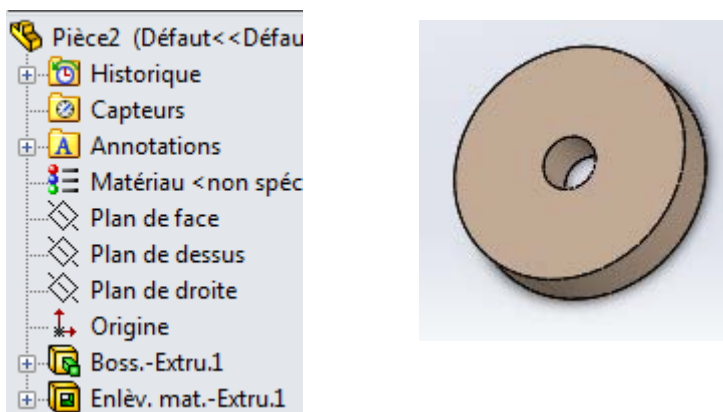
Etape N° 2 Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.






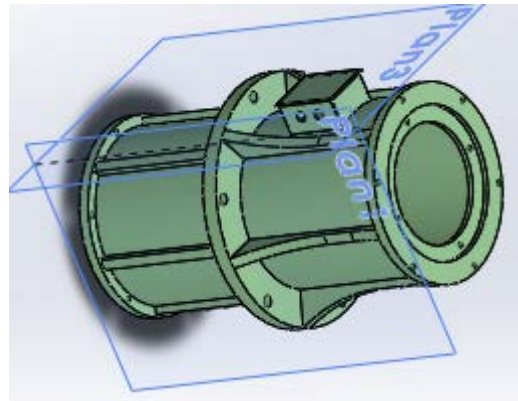
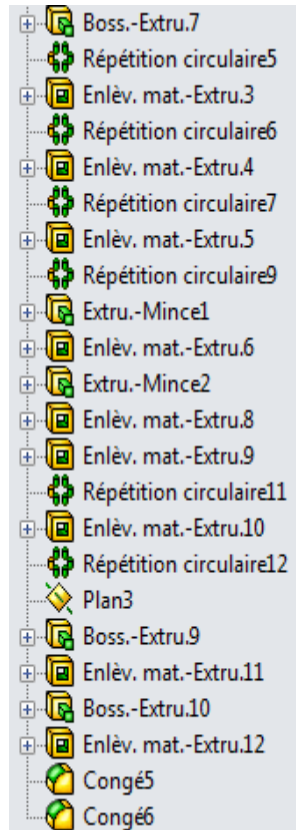
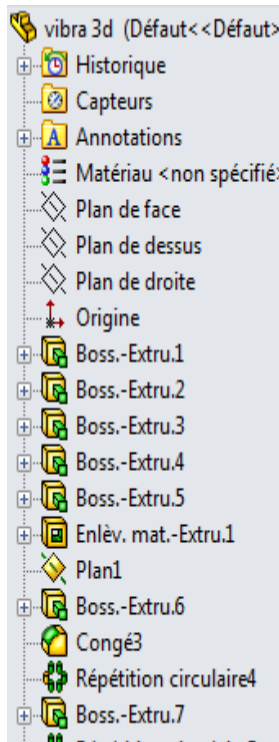
Etape N°3 Sélectionner le plan de dessus, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



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.



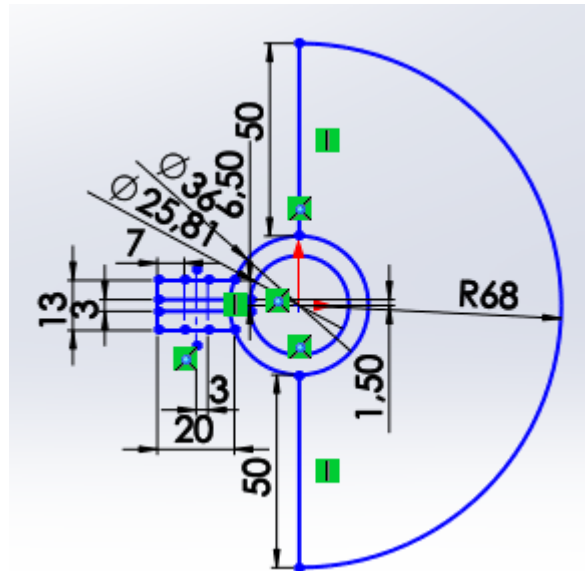
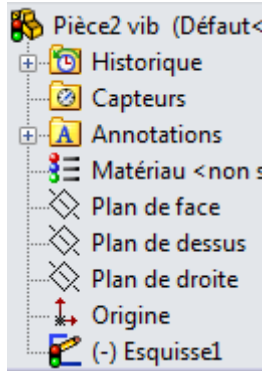
Etape N° 4 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions, il faut alors choisir l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions et  répétition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



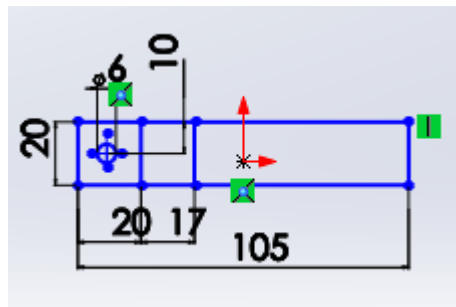
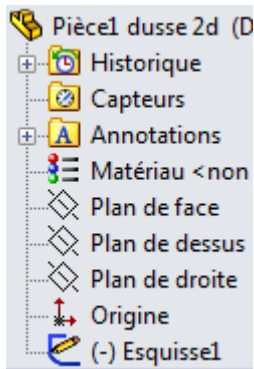
4.4.7 Modélisation de P7 masse excentrique



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

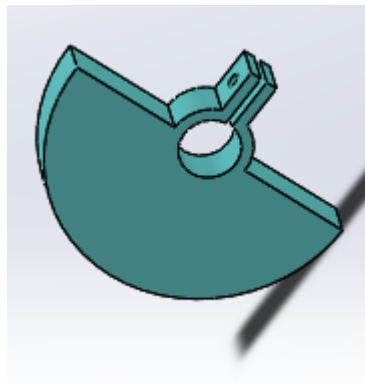
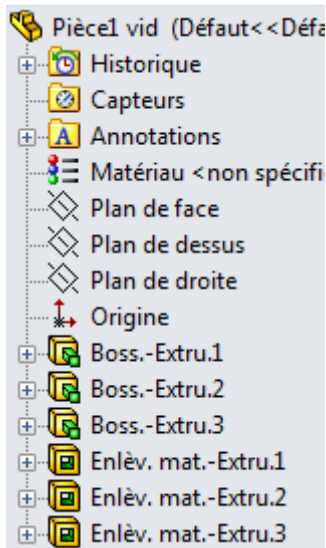
Etape N° 2 Choisir le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



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



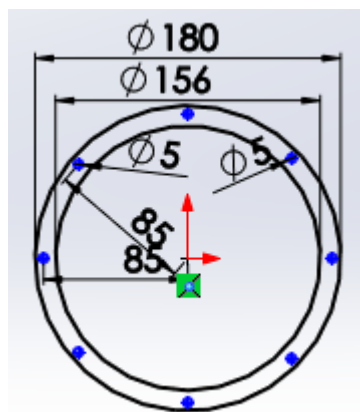
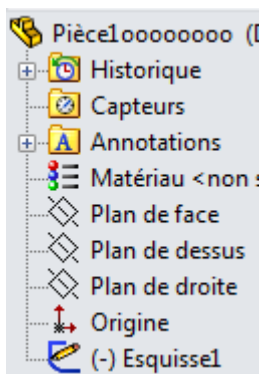
Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer un fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions. Il faut alors choisir l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions.



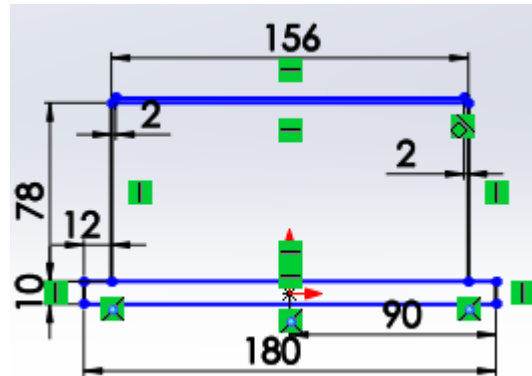
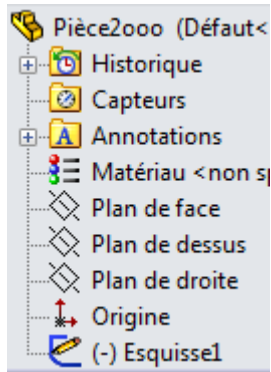
4.4.8 Modélisation de P8 cage vibreur



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

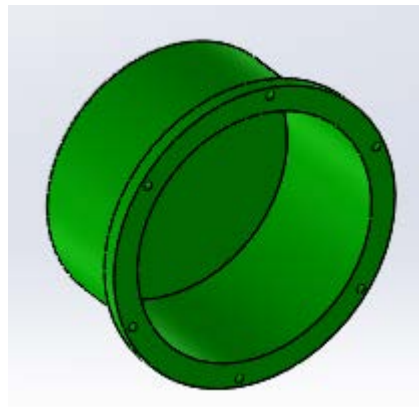
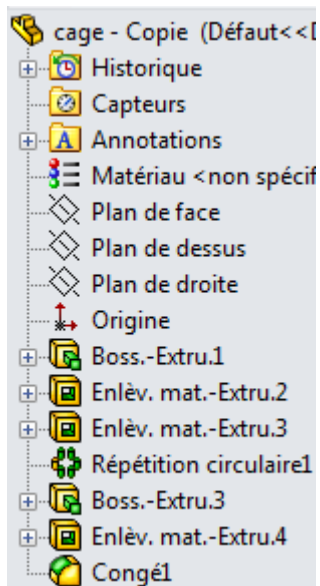
Etape N° 2 Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



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



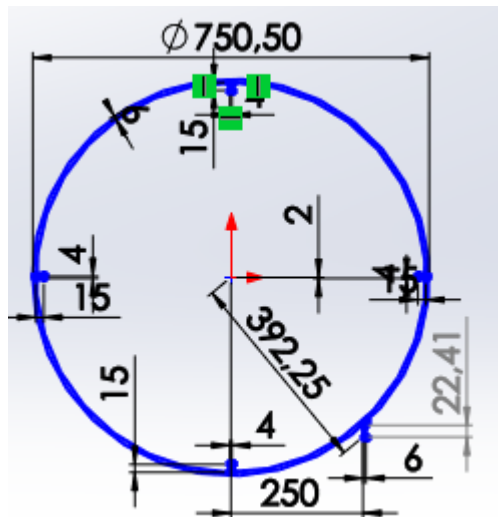
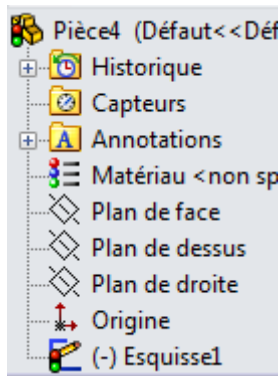
Etape N° 4 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions , il faut alors choisir l'icône  répétition circulaire .



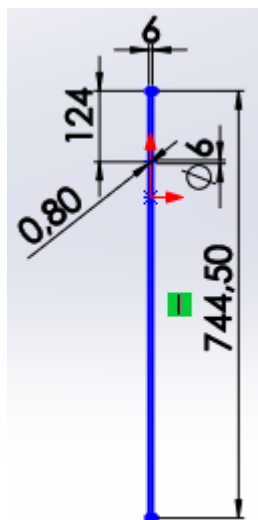
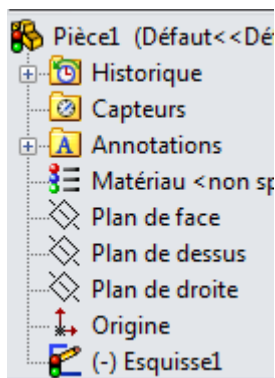
4.4.9 Modélisation de P9 conduite


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

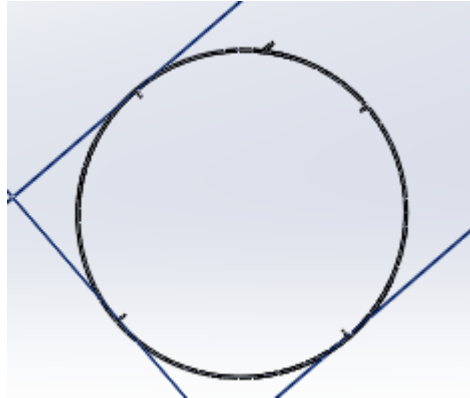
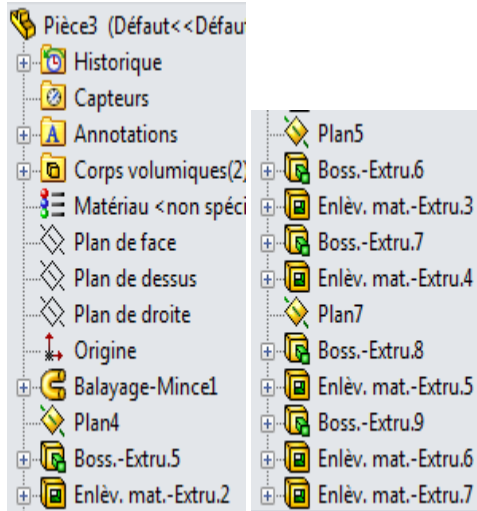
Etape N° 2 Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



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



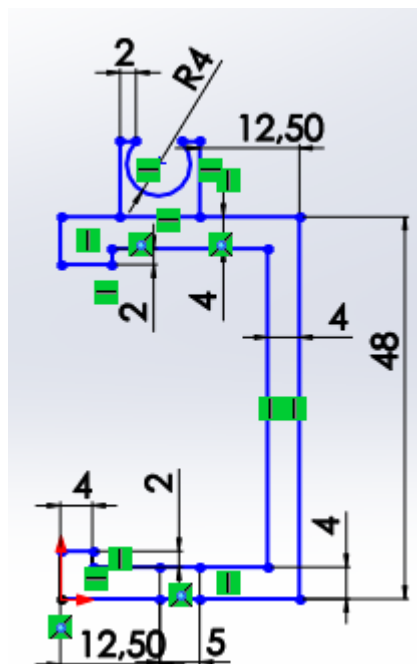
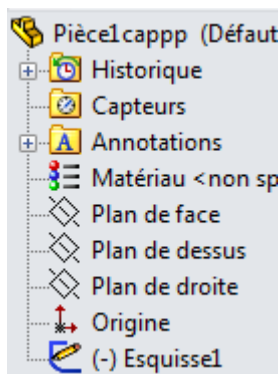
Etape N° 4 Cliquer sur l'icône  Créé une fonction volumique en balayant un profil fermé le long d'une trajectoire ouverte ou fermée.



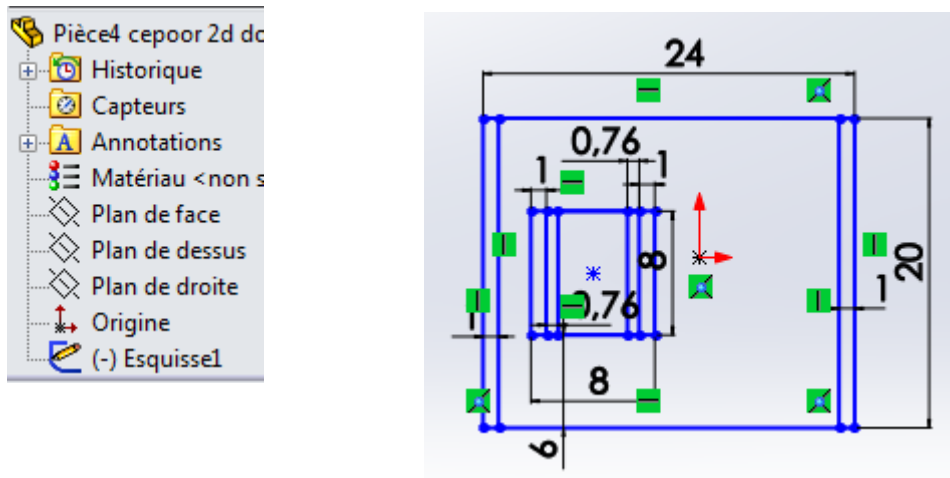
4.4.10 Modélisation de P10 le boucle de fixation



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

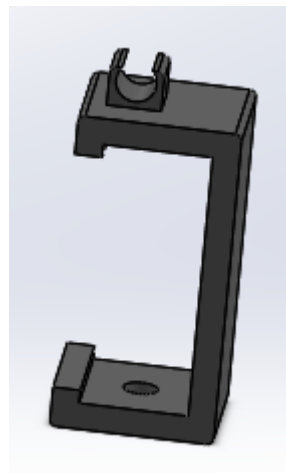
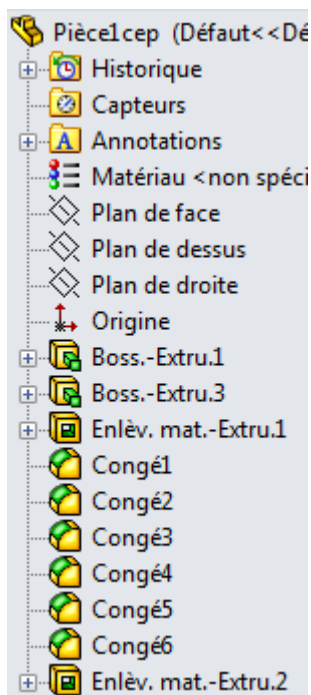
Etape N° 2 Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



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



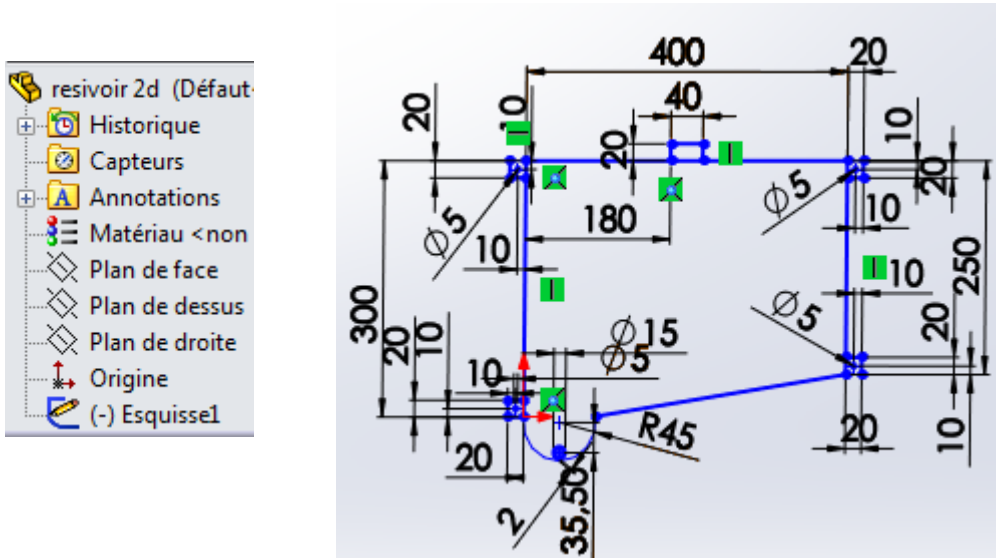
Etape N° 4 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions, il faut alors choisir l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions.



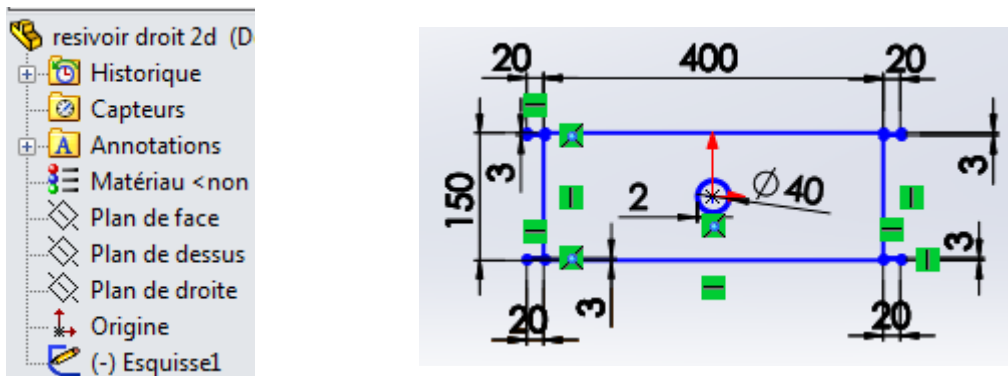
4.4.11 Modélisation de P11 réservoir



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

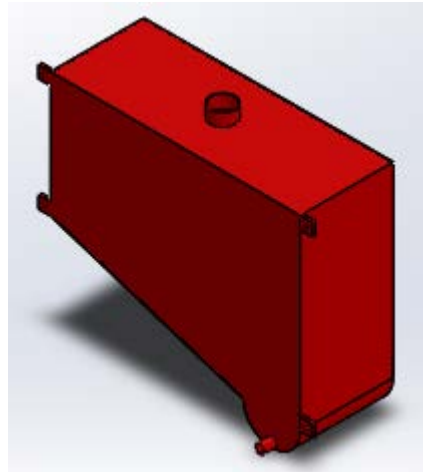
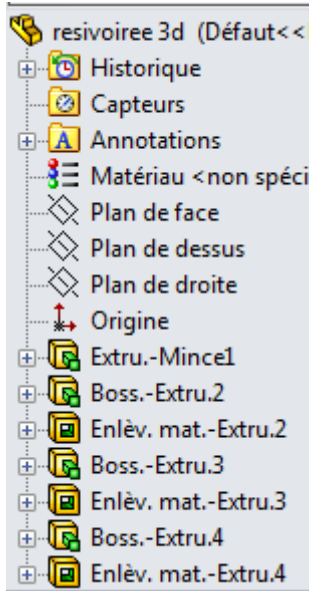
Etape N° 2 Choisir le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



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



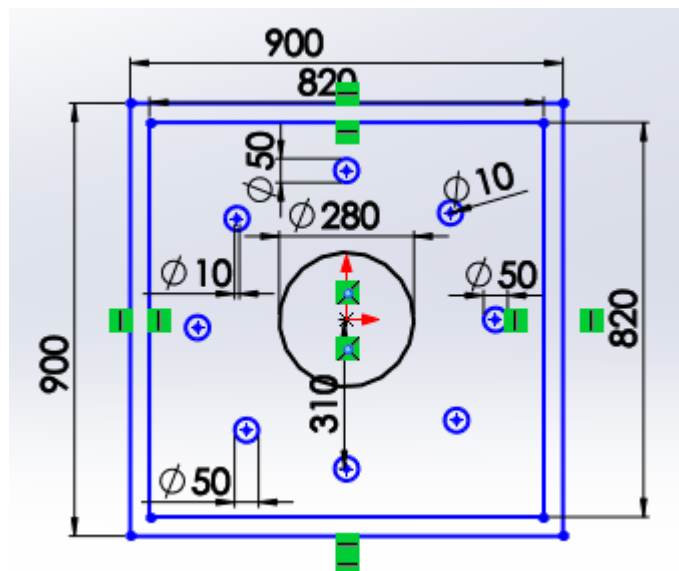
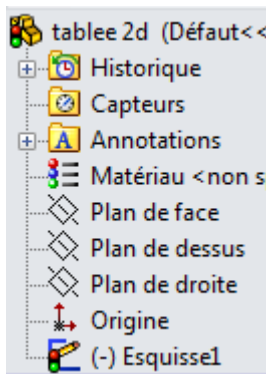
Etape N° 4 Cliquer sur l'icône  Créer un fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions , il faut alors choisir l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions.



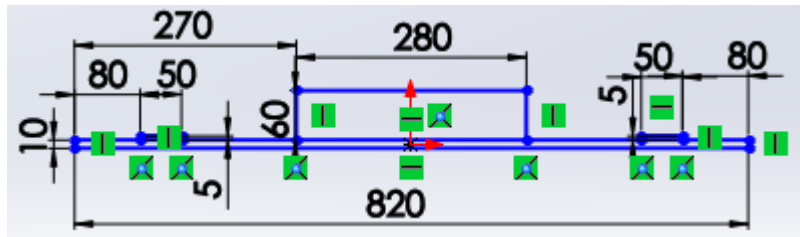
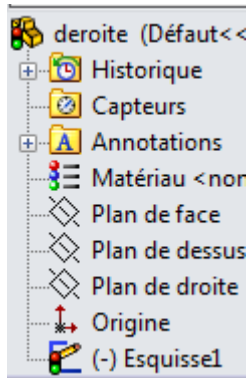
4.4.12 Modélisation de P12 Boitier support




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

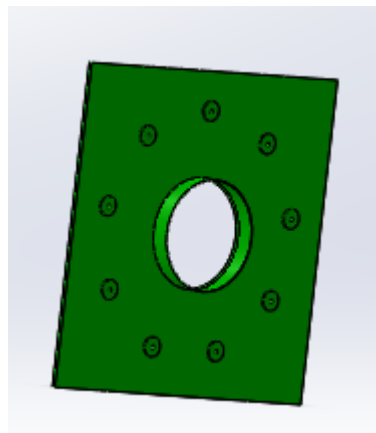
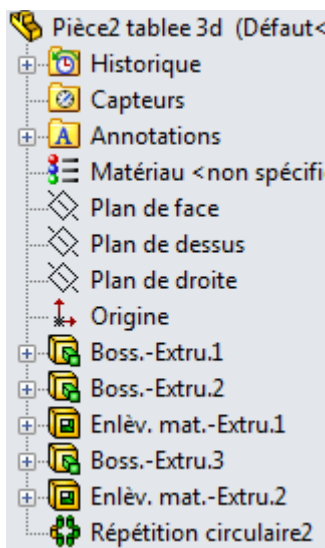
Etape N° 2 Choisir le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.



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



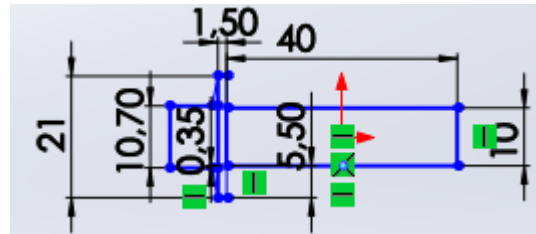
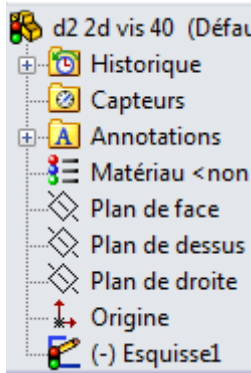
Etape N° 4 Cliquer sur l'icône  Créer une fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions, il faut alors choisir l'icône  enlève de la matière sur un modèle volumique extrudant un profil esquissé dans une ou plusieurs directions et  répétition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





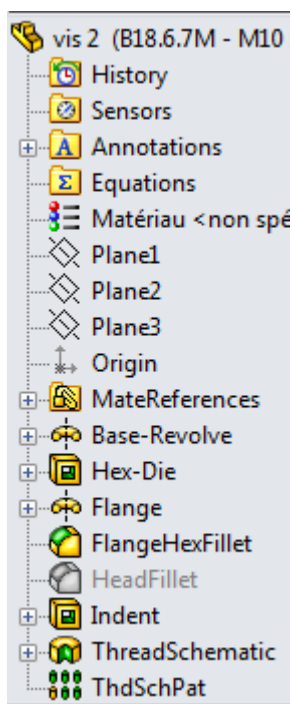
4.4.13 Modélisation de P13 Vis de fixation cage de l'élément flexible

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.



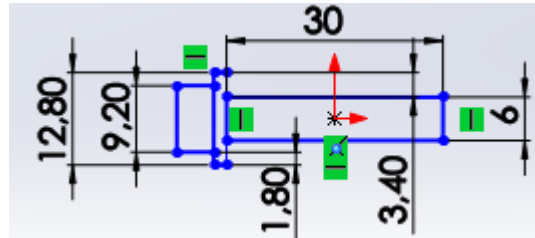
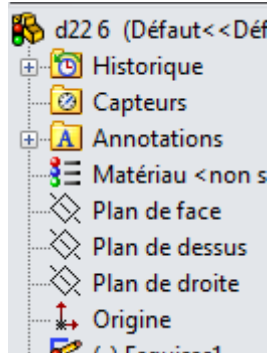
Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer un fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions , il faut alors choisir l'icône  bossage avec révolution .






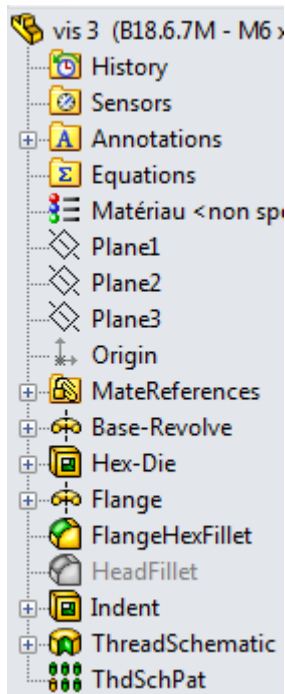
4.4.14 Modélisation de P14 Vis de fixation la masse excentrique

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.



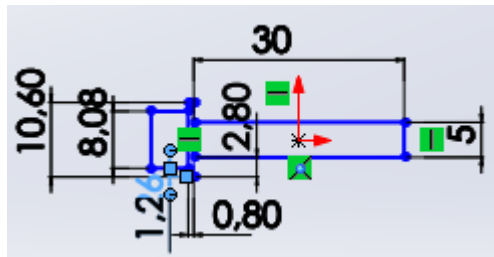
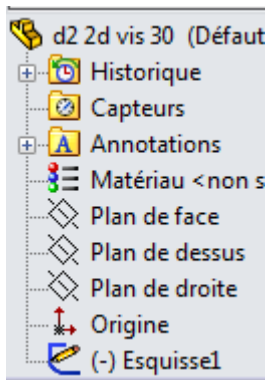
Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer un fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions , il faut alors choisir l'icône  bossage avec révolution et l'icône  congé.





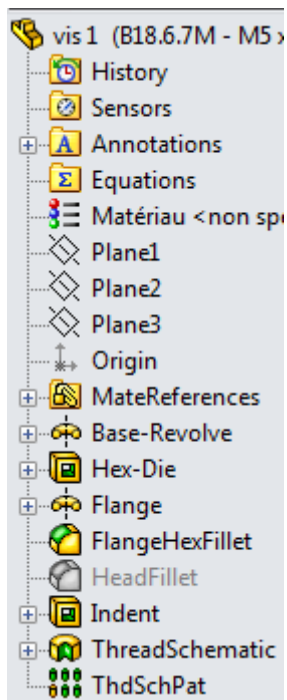
4.4.15 Modélisation de P15 Vis de fixation cage vibrateur

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.



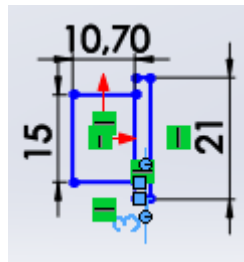
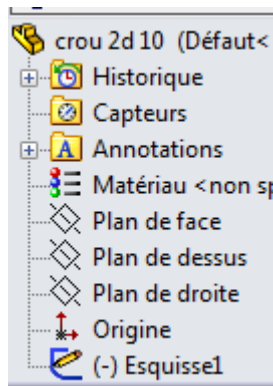
Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer un fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions , il faut alors choisir l'icône  bossage avec révolution .





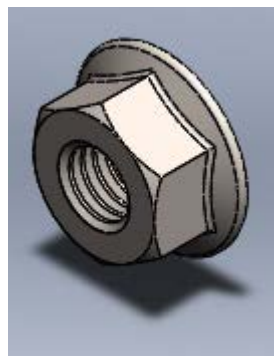
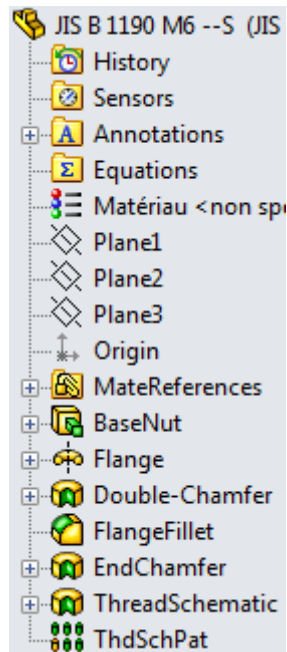
4.4.16 Modélisation de P16 Crous de fixation cage de l'élément flexible

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.



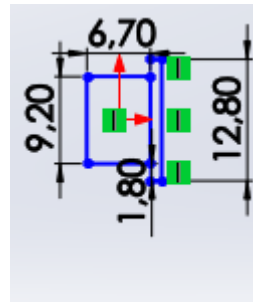
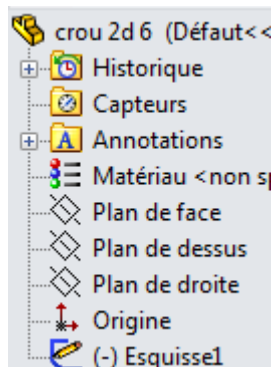
Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer un fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions , il faut alors choisir l'icône  Hélice et Spirale.





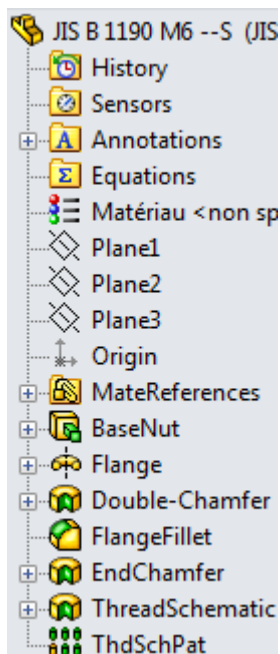
4.4.17 Modélisation de P17 Crous de fixation la masse excentrique

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.



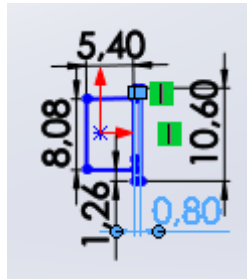
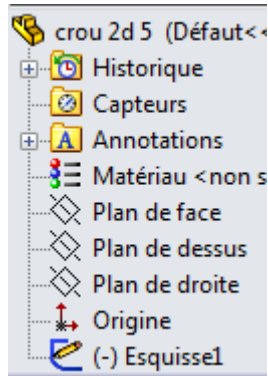
Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer un fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions , il faut alors choisir l'icône  congé.





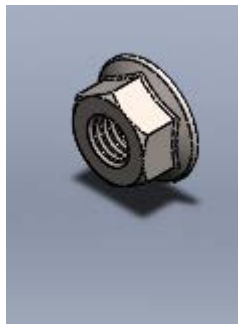
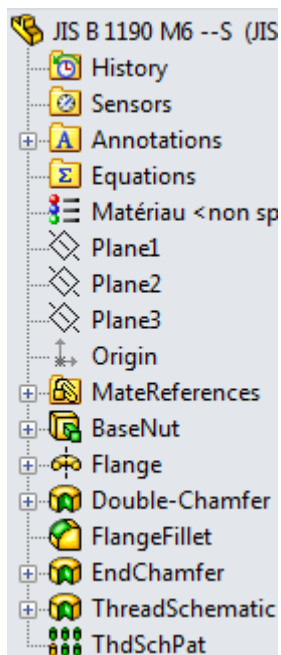
4.4.18 Modélisation de P18 Crous de fixation cage vibrateur

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 la cotant.



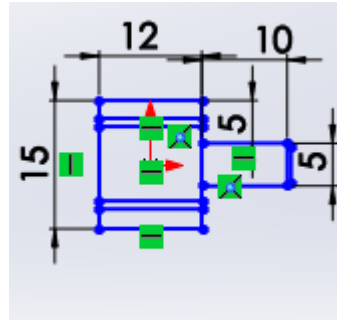
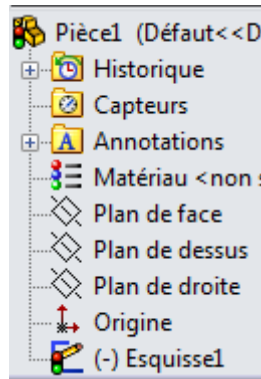
Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer un fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions , il faut alors choisir l'icône  Hélice et Spirale.





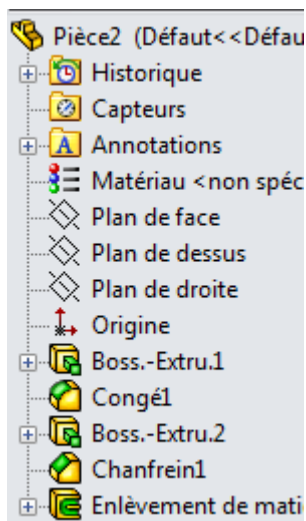
4.4.19 Modélisation de P19 Vis à oreilles de fixation le boucle

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.

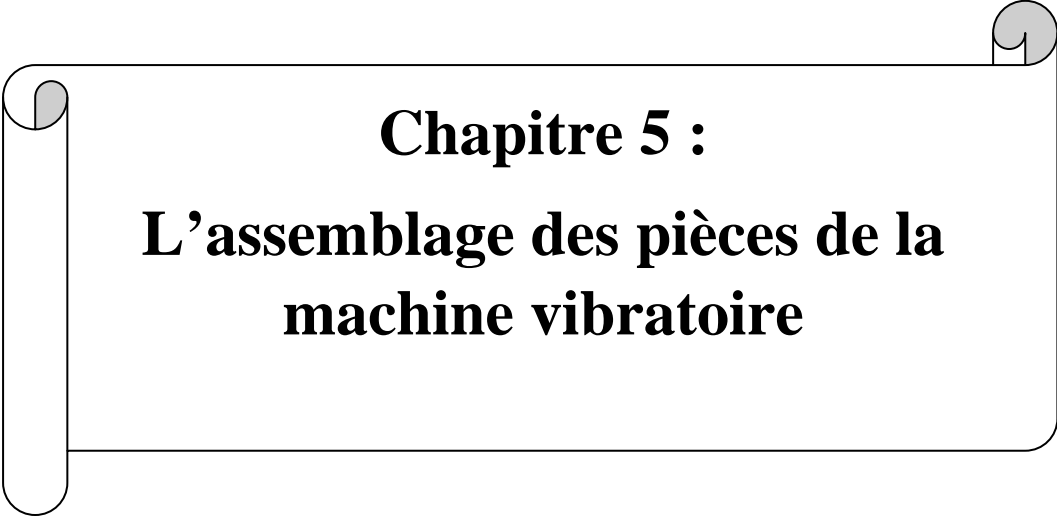


Etape N° 3 Cliquer sur l'icône  Créer un fonction volumique en extrudant une esquisse ou les contours d'esquisse sélectionnés dans une ou deux directions , il faut alors choisir l'icône  bossage avec révolution .



4.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons modélisé les importantes pièces de la machine vibratoire, pour le reste des pièces nous donnons juste les modèles finals après avoir consulté de divers moyens d'informations référentielles et de métrologie, qui nous ont permis d'avoir les dimensions de ces pièces. Par la même occasion nous avons défini la modélisation finale de cette machine, ainsi que la maîtrise de l'outil de CAO SolidWorks 2015.



Chapitre 5 :
L'assemblage des pièces de la
machine vibratoire

5 Chapitre 5 : L'assemblage des pièces de la machine vibratoire

5.1 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.

5.2 Assemblage

5.2.1 Assemblage avec les contraintes

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

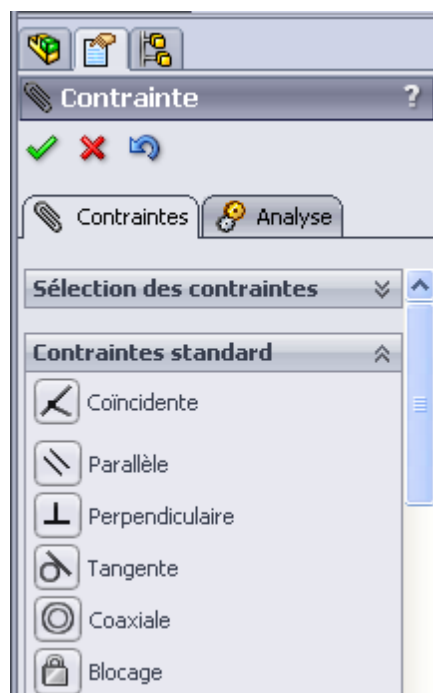


Fig. V.1 Liste de la contrainte standard

5.2.2 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'assemblé de la chambre 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.

5.2.3 Premier assemblage

Dans cet assemblage nous avons quatre sous assemblages :

5.2.3.1 Sous assemblage 1 :

La chambre de travail + La couverture + La pièce de fixation de la chambre

P1 + P2 + P3

Étape N° 1

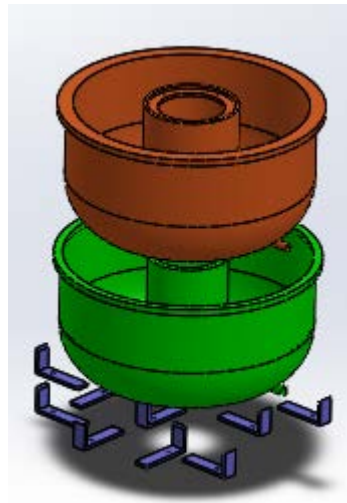
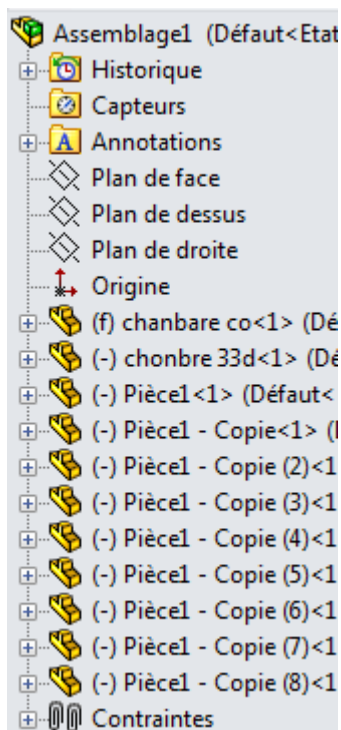


Fig. V.2 Les composantes du sous assemblage 1 dans une seule zone graphique

Étape N° 2

L'image finale de l'assemblage de P1 + P2 + P3

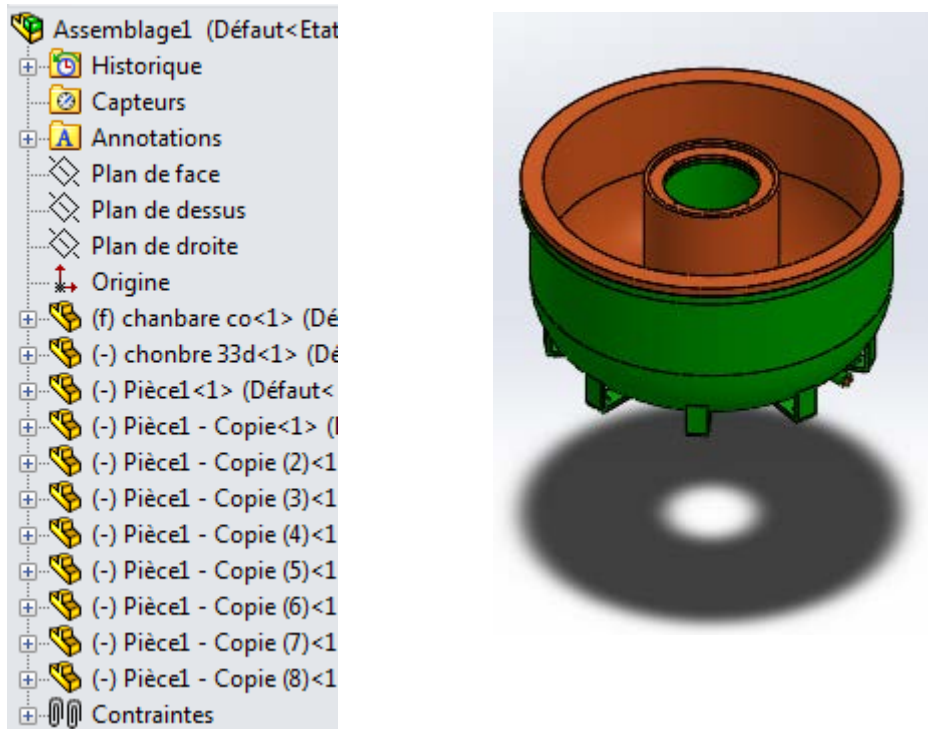


Fig. V.3 Les composantes du sous assemblage 1 dans une seule zone graphique

5.2.3.2 Sous assemblage 2

Assemblage 1 + élément flexible + cage de l'élément flexible + stops bruit + Vis + Crous Hex flange + Rondelle de blocage

P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6 + P7

Étape N°1

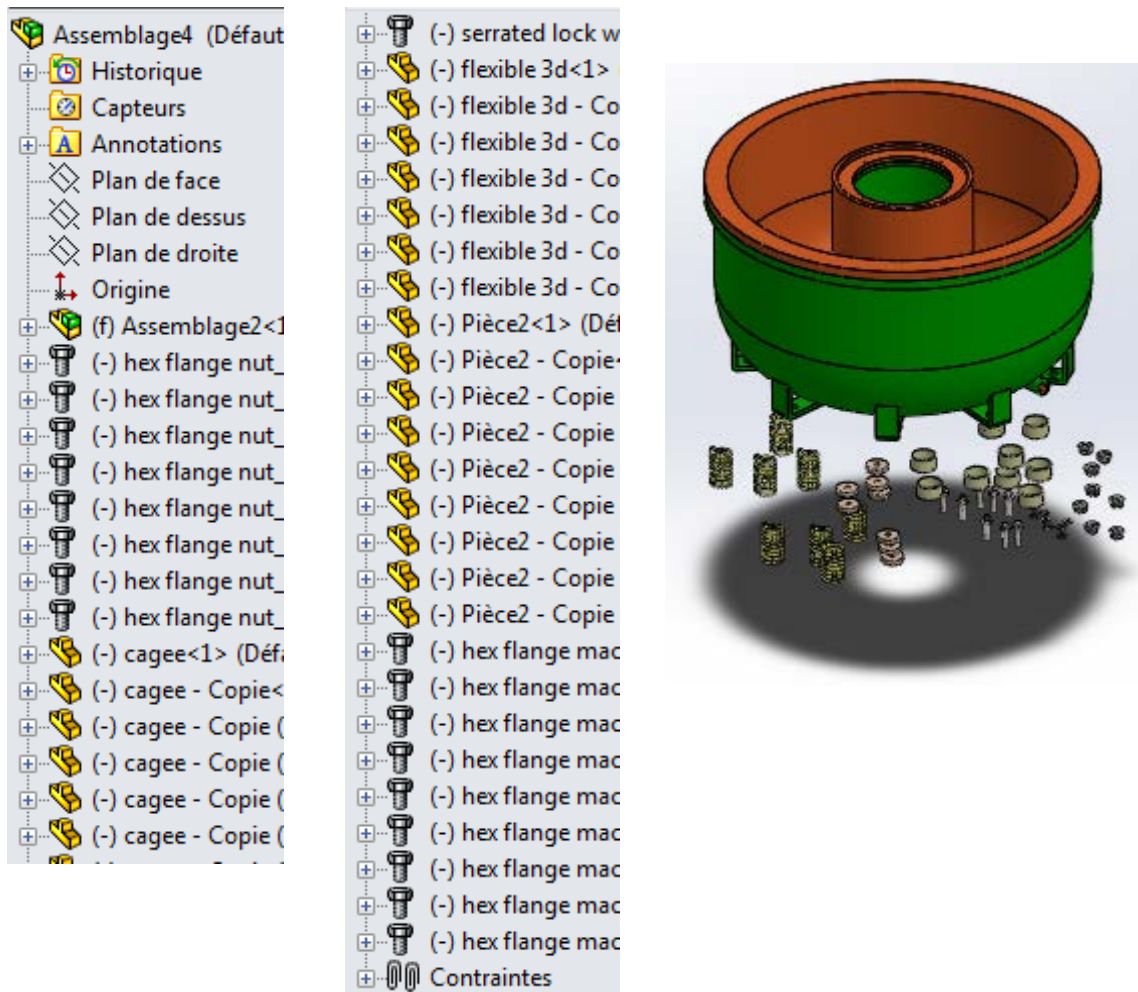


Fig. V.4 Les cotonneuses du sous assemblage 2 dans une seule zone graphique

Étape N°2

Après l'assemblage de tous les éléments suivants, nous recevons la pièce ci-dessous

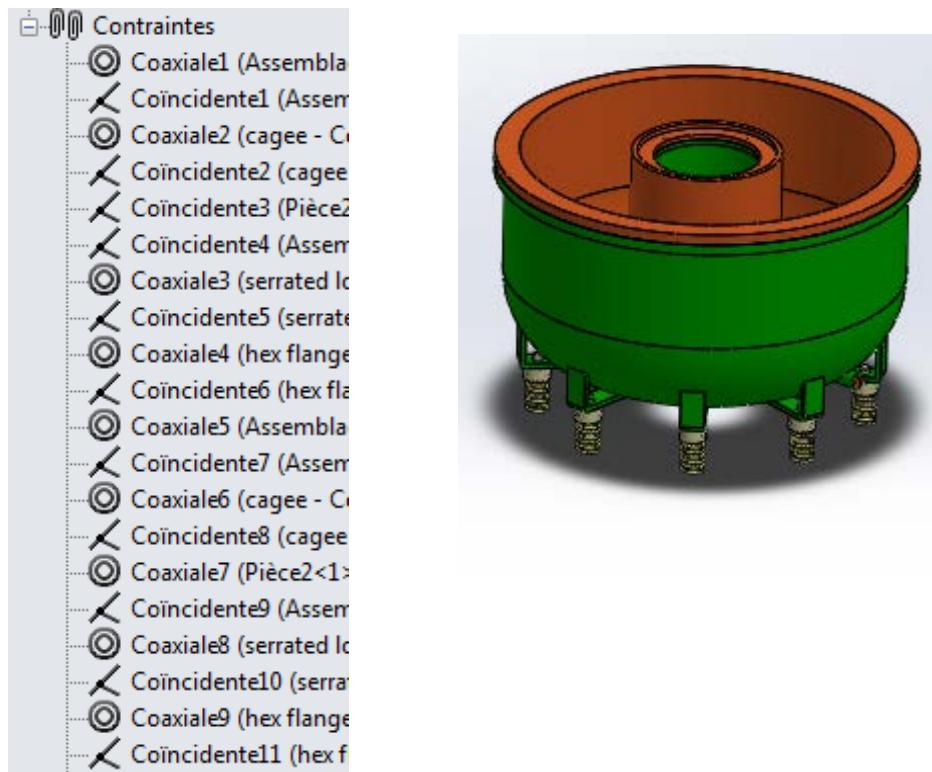


Fig. V . 5 Les cotonneuses du sous assemblage 2 dans une seule zone graphique

Étape N°1

Voilà l'assemblage final de tous les éléments

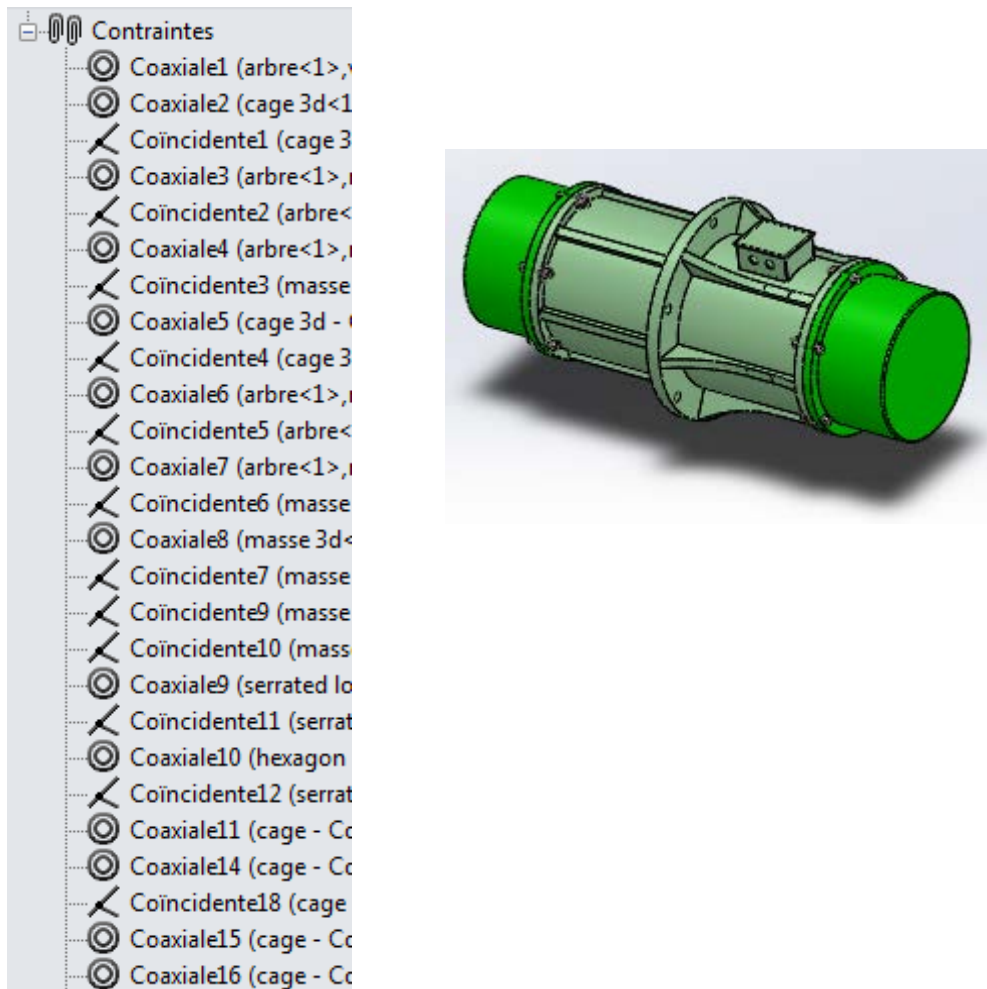


Fig. V.7 Les composantes du sous assemblage 3 dans une seule zone graphique

5.2.4.1 Sous assemblage 3.1

Assemblage 2 + le vibreur + cage de couverture

P1 + P2 + P3

Étape N°1

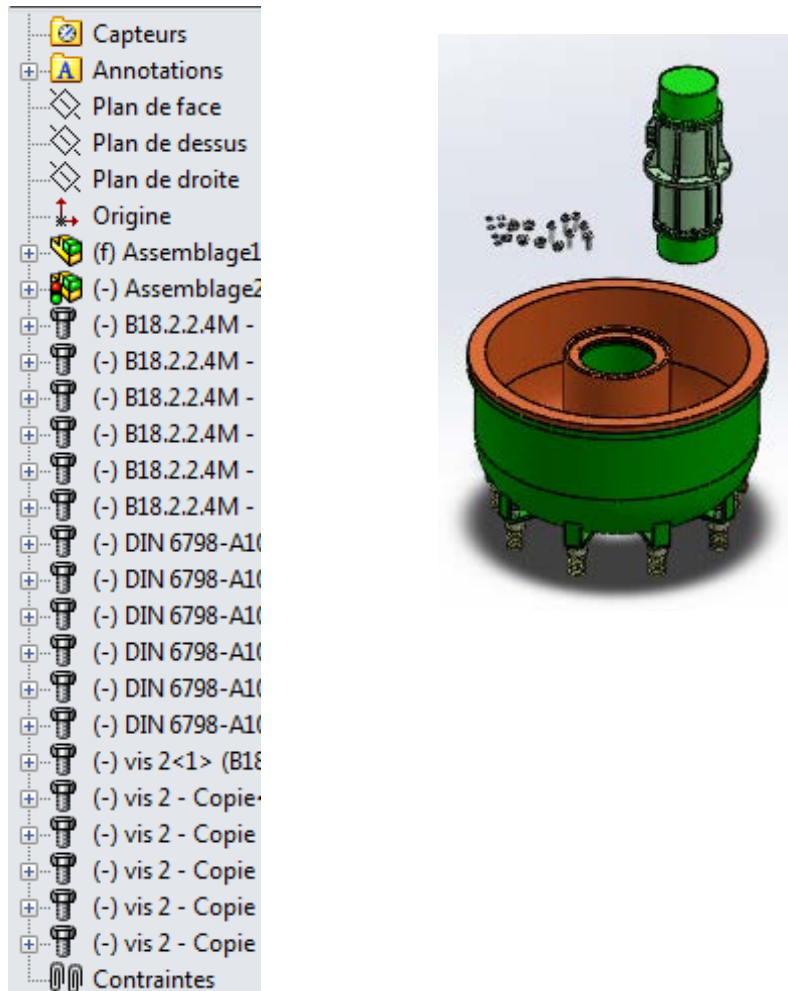


Fig. V.8 Les cotonneuses du sous assemblage 3.1 dans une seule zone graphique

Étape N°2

Alors voici après l'assemblage la pièce finale

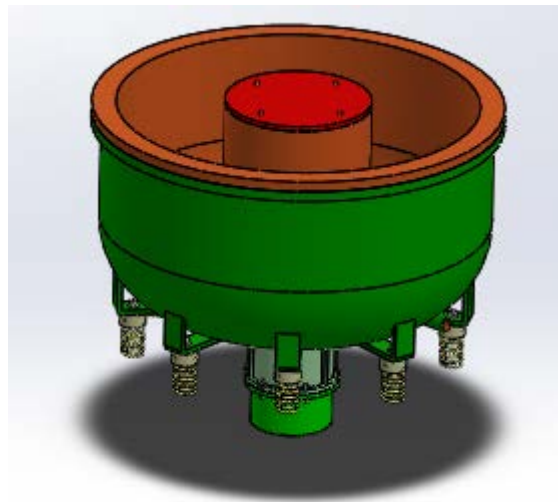
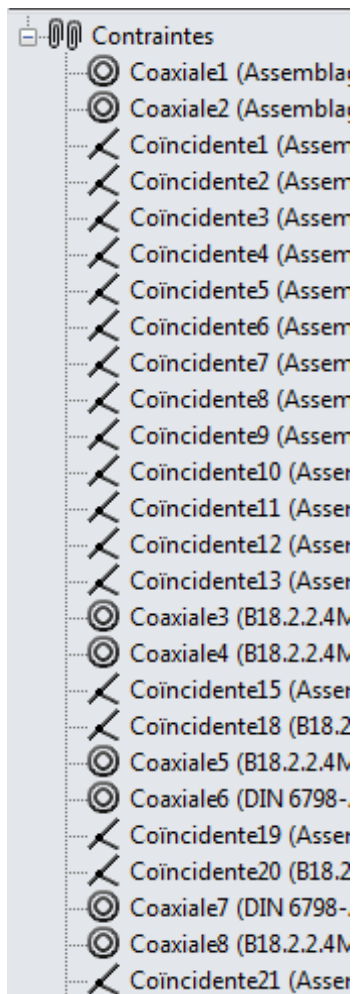


Fig. V.9 Les composantes du sous assemblage 3.1 dans une seule zone graphique

5.2.4.2 Sous assemblage 3.2

Assemblage 3 + conduite + le boucle de fixation + Vis à oreilles de fixation

P1 + P2 + P3 + P4

Étape N°1

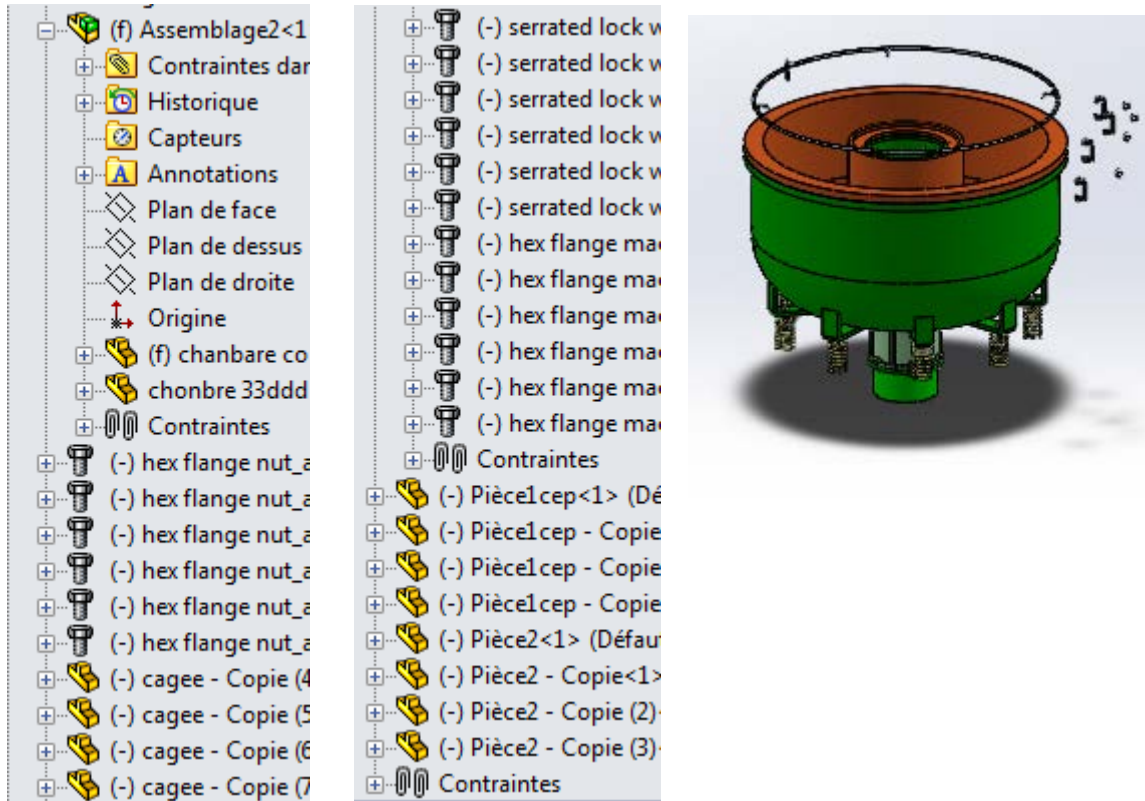


Fig. V.10 Les composantes du sous assemblage 3.2 dans une seule zone graphique

Étape N°2

La chambre de travail avec le système d'alimentation

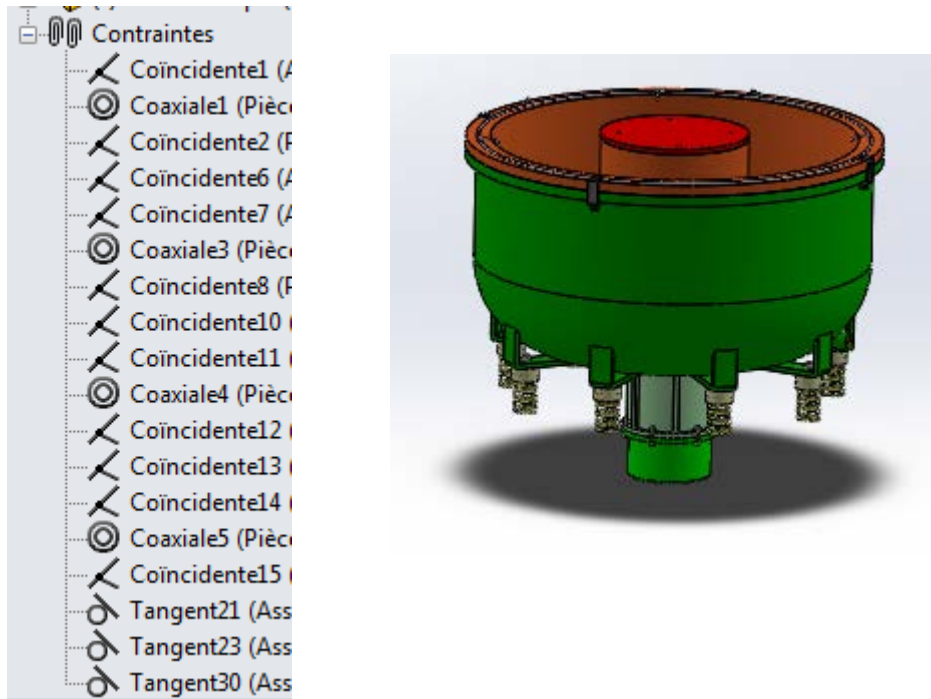


Fig. V.11 Les cotonneuses du sous assemblage 3.1 dans une seule zone graphique

5.2.5 Sous assemblage 1

Boîtier support + le réservoir

P1 + P2

Étape N°1

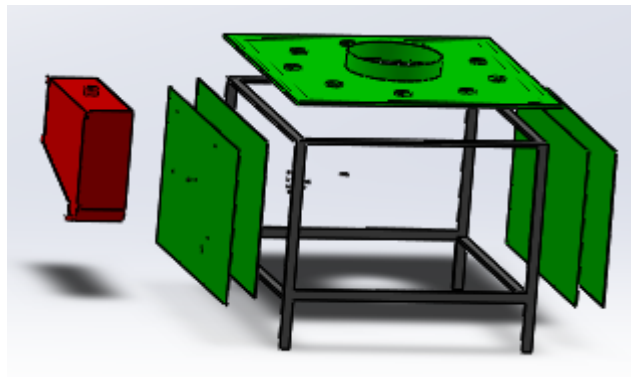
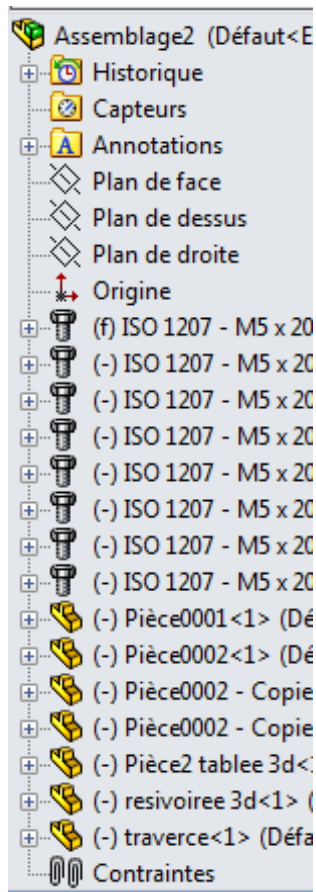


Fig. V.12 Les composantes du sous assemblage 1 dans une seule zone graphique

Étape N°2

Enfin le boîtier de la machine vibratoire est réalisé

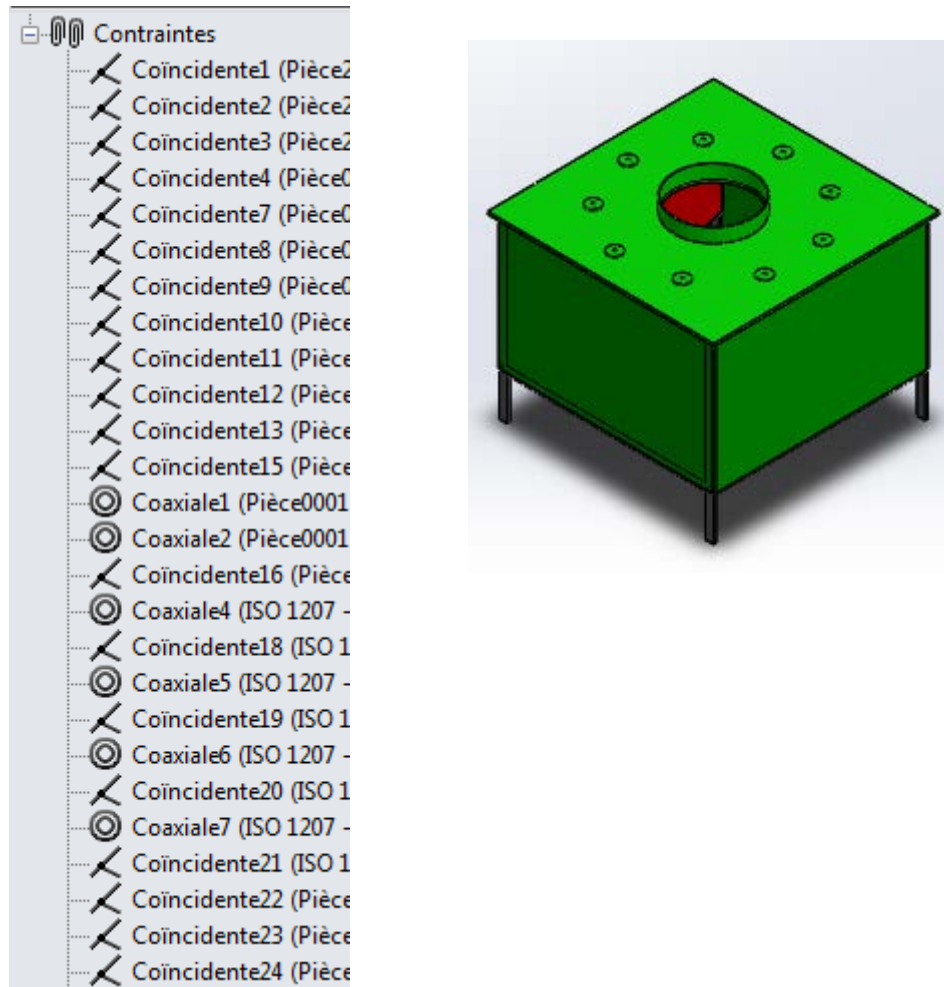


Fig. V.13 Les composantes du sous assemblage 1 dans une seule zone graphique

5.2.5.1 Sous assemblage 1,2

Assemblage 1 + cage de l'élément flexible + stops bruit +

Vis + crous Hex flange + Rondelle blocage

P1 + P2+ P3+ P4 + P5 + P6

Étape N°1

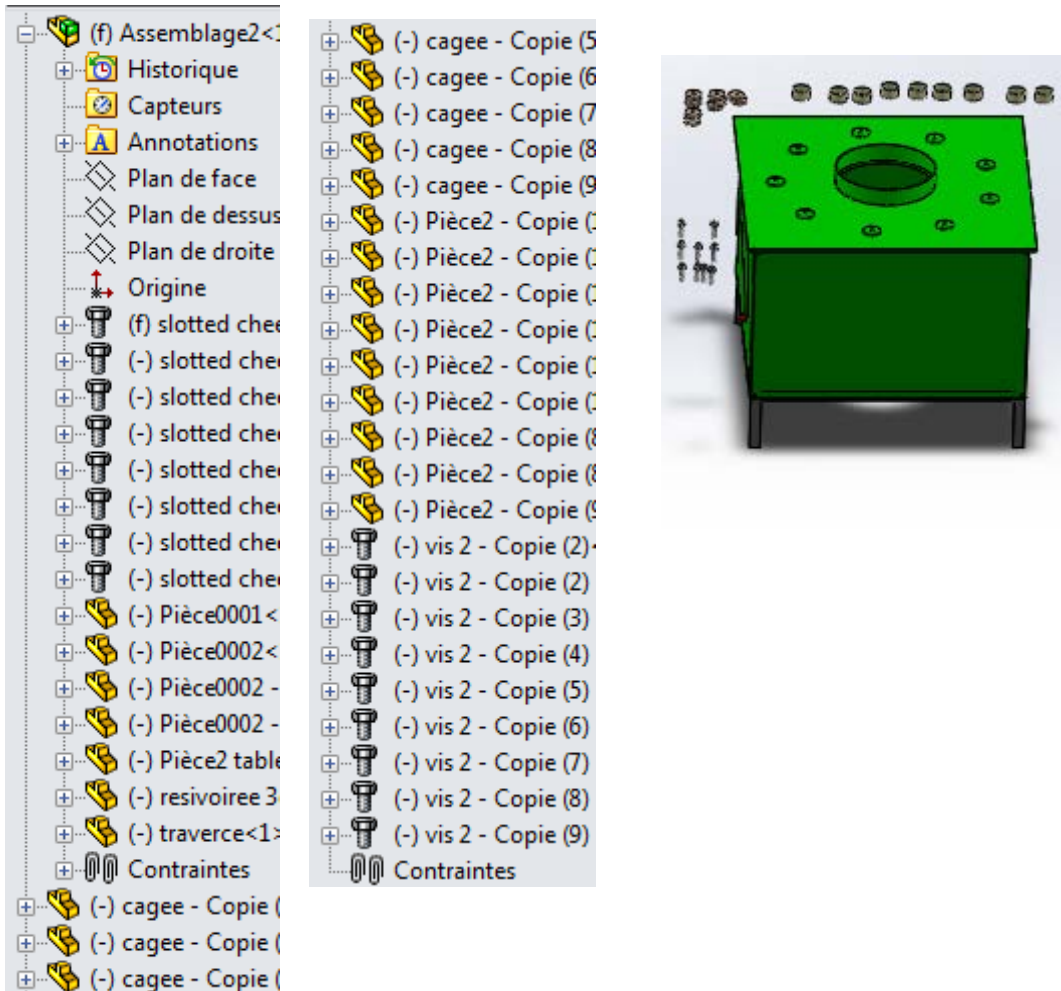


Fig. V.14 Les composantes du sous assemblage 1,2 dans une seule zone graphique

Étape N°1

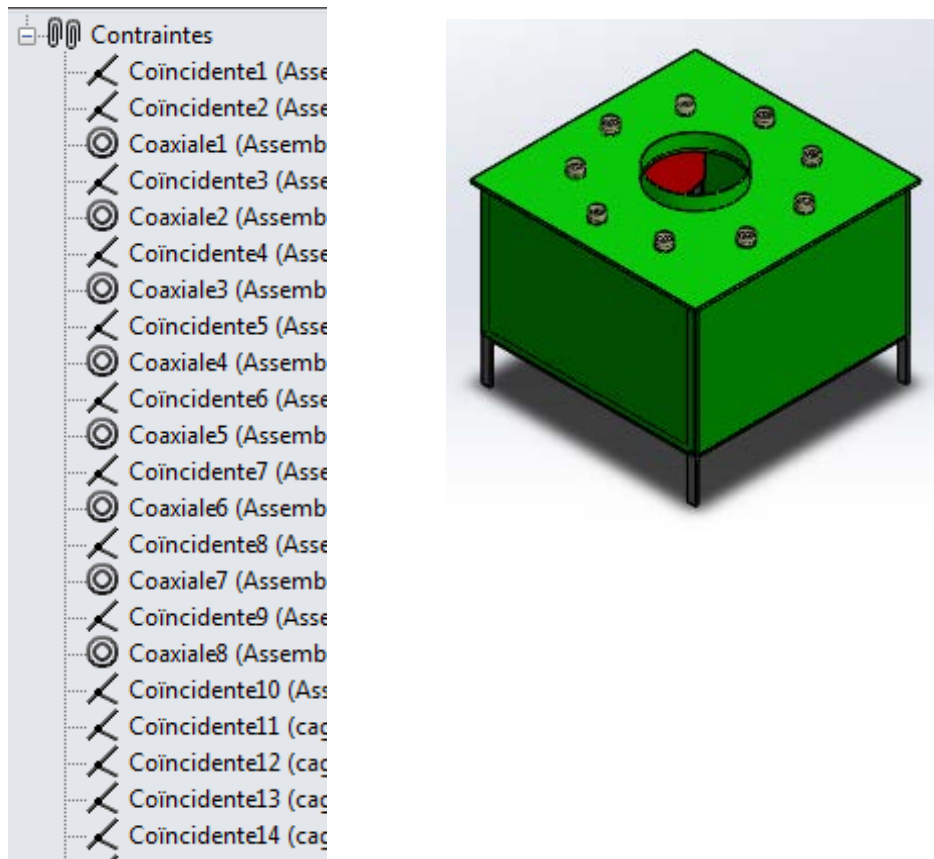


Fig. V.15 Les composantes du sous assemblage 1,2 dans une seule zone graphique

5.2.6 Sous assemblage final

La Boitier support final + La chambre de travail finale

P1 + P2

Étape N°1

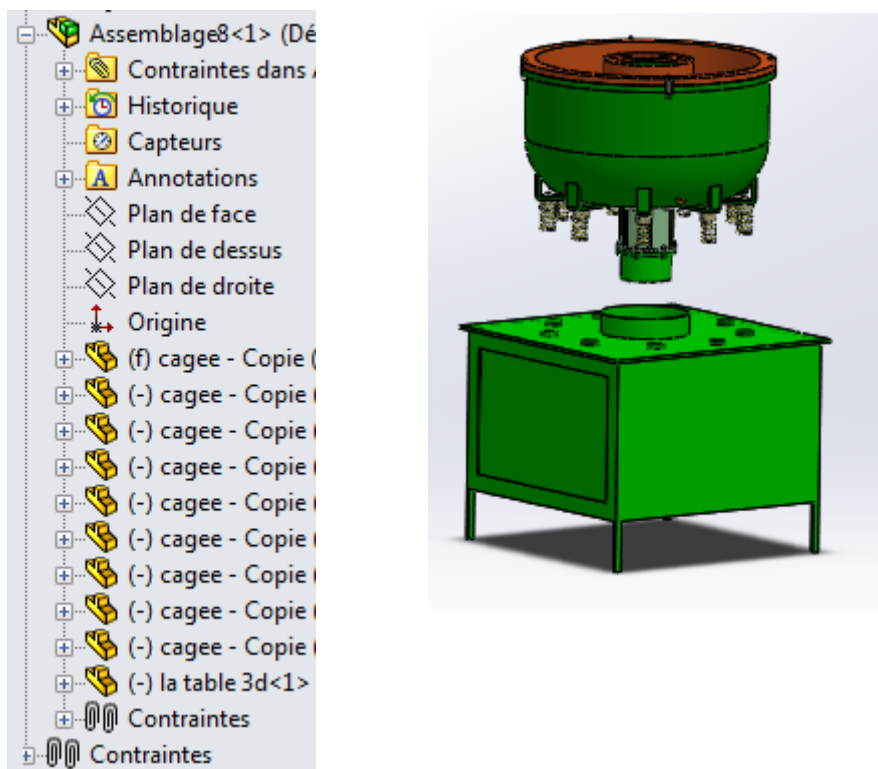


Fig. V.15 Les composantes du sous assemblage final dans une seule zone graphique

Étape N°2

La machine vibratoire avec une chambre de travail en forme circulaire est réalisée

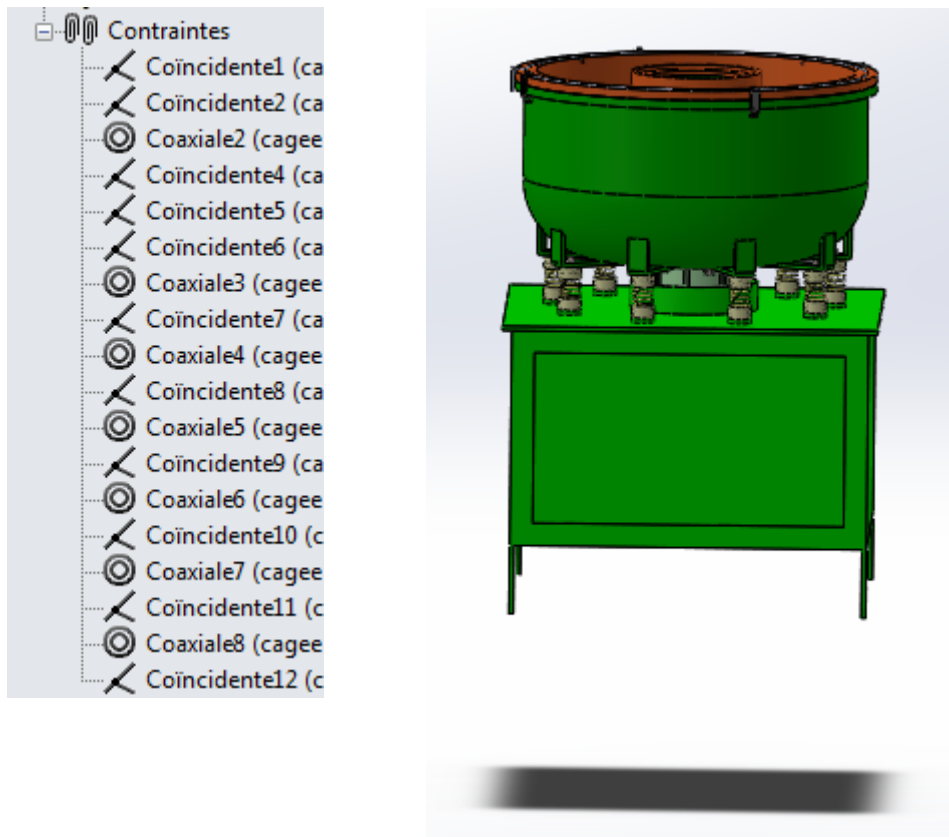


Fig. V.16 Les composantes du sous assemblage final dans une seule zone graphique

5.3 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 permet 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 :

- [1] Amara, 2002] H. AMARA, « Contribution à la génération de gammes d'usinage : intégration de l'homme et approche multi-agent », Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes, Université de Nantes, 2002.
- [2] Anotaipaiboon et al, 2006] W. ANOTAIPAIBOON, S. MAKHANOV and E.L.J. BOHEZ, “Optimal setup for five-axis machining”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 46: 964–977, 2006.
- [3] Anselmetti et al, 1995] B. ANSELMETTI, A. CHEP and P. MOGNOL, “Decision-Based Approach : Application To The Automatic Design Of Process Planning”, *International Journal of Production Planning & Control*, Taylor & Francis publishers, London, vol 6, n°4, pp. 345-351, 1995.
- [4] Anselmetti et Bourdet, 1993] B. ANSELMETTI and P. BOURDET, “Optimization of a workpiece considering production requirements”, *Computers in Industry*, 21 (1993)
- [5] Anselmetti et Hassen, 2005] B. ANSELMETTI and H. LOUATI, “Generation of manufacturing tolerancing with ISO standards”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45 (2005) 1124–1131.
- [6] Askin et Standrige, 1993] R.G. ASKIN and C.R. STANDRIDGE, “Modeling and Analysis of Manufacturing Systems”, John Wiley & Sons, Inc, 1993.
- [7] Azab et El Maraghy, 2007] A AZAB and H EL MARAGHY, “Sequential process planning: A hybrid optimal macro-level approach”, *Journal of Manufacturing Systems*, 26, pp 147–160, 2007.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Besson, 1983] Patrick BESSON, « l'atelier de demain: perspective de l'automatisation flexible », Presse Universitaire de Lyon, 1983.
- [11] Bohez, 2002] E.L.J. BOHEZ, “Five-axis milling machine tool kinematic chain design and analysis”, *Journal of Machine tools and Manufacture*, 42, 505-520, 2002.
- [12] Bouzgarrou et al, 2002] B. C. BOUZGARROU, B. THUILOT, P. RAY and G. GOGU, “Modélisation des manipulateurs flexibles appliquée aux machines-outils UTGV Modeling of flexible manipulators applied to HSMW machine tools”, *Mécanique & Industries*, 3 (2002) 173–180.
- [13] Boyle et Rong, 2004] I.M. BOYLE and K. RONG, “A CASE-BASED Reasoning fixture design method”, *Framework and indexing mechanisms*, ASME, Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, September 28 – October 2, Salt Lake City, Utah USA, 2004.
- [14] Cao et Altintas, 2007] Y. CAO and Y. ALTINTAS, “Modeling of spindle-bearing and machine tool systems for virtual simulation of milling operations”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 47, Issue 9, July 2007, Pages 1342-1350.

- [15] Castagnetti et al, 2008] C. CASTAGNETTI, E. DUC and P. RAY, "The Domain of Admissible Orientation concept: A new method for five-axis tool path optimisation", *Computer-Aided Design* (2008), doi:10.1016/j.cad.2008.07.002.
- [16] Chen et Yanb, 1999] F-C. CHEN and H-S. YANB, "Configuration synthesis of machining centres with tool change mechanisms", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 39, 273–295, 1999.
- [17] Benmokhtar et al, 2006] S. BELMOKHTAR, A. DOLGUI, N. GUSCHINSKY and G. LEVIN, "Integer programming models for logical layout design of modular machining lines", *Computers & Industrial Engineering* 51, 502–518, 2006.
- [18] Chen, 2000] F.C. CHEN, "On the structural configuration synthesis and geometry of machine centres". *Proceedings of Instrumentation and Mechanics Engineers*, vol. 215, p.641-652, 2000.
- [Chiou, 2004] C.J. CHIOU, « Accurate tool position for 5-axis rules surface machining by swept envelop approach », *Computer Aided Design*, 36:967–974, 2004.
- [19] Cordebois, 2003] J-P. CORDEBOIS, « Fabrication par usinage », collaborateurs (P. MARTIN, Mi. CHAMBE, A. D'ACUNTO, M. DURSAPT, P.FRANÇOIS, B. FURET, J-F. GUENAL, J-M. LEMEURE, L. MATHIEU, F. MOLLET, Y. POUZAIN, J. RECH), Dunod, Paris, 2003.
- [20] Derigent, 2005] W. DERIGENT, « Méthodologie de passage d'un modèle CAO vers un modèle FAO pour des pièces aéronautiques »: Prototype logiciel dans le cadre du projet USIQUICK, Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy-I, 2005.
- [21] Derras, 1998] C. DERRAS, « Formalisation de l'imprécision informationnelle et des incertitudes décisionnelles des connaissances expertes pour la génération de processus de fabrication », Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy, 1998.
- [22] Due et al, 2006] E. DUC, V. PATELOUP and P. RAY, "The certification of CAM output tool paths: A necessary improvement", *A Proceedings Volume from the 12th IFAC Conference*, 17-19 May 2006, Saint-Etienne, France 2006, Pages 793-798.
- [23] Edalew et al, 2001] K. O. EDALEW, H. S. ABDALLA, and R. J. NASH, "A computerbased intelligent system for automatic tool selection", *Materials & Design*, Volume 22, Issue 5, 337-351, 2001.
- [24] ElMaraghy, 2005] H.A. ELMARAGHY, "Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms", *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*. Special Issue: Reconfigurable Manufacturing Systems, 17/4: 261-276, 2005.
- [25] Étienne, 2007] A. Étienne, « Intégration Produit / Process par les concepts d'activités et de caractéristiques clés - Application à l'optimisation de l'allocation des tolérances géométriques », Thèse de doctorat, Laboratoire de Génie Industriel et de Production Mécanique ENSAM, CER de Metz, Université de PAUL VERLAINE-Metz, école doctorale IAEM lorraine, 2007.
- [26] David A. Davidson, Mass finishing processes, *Metal Finishing*, Volume 98, Issue 1, January 2000, 108, 110, 112, 114, 116-118, 120-122 pp.
- [27] Menel D., Choice of a tribofinishing abrasive, *Surfaces*, N 245, 1994, 22-24 pp.
- [28] David A. Davidson, Mass finishing processes, *Metal Finishing*, Volume 105, Issue 10, 2007, 72-83 pp.

- [29] Tony van Gendta, Dan O'Connora, Process control and automated mass finishing solutions, *Metal Finishing*, Vol. 98, Issue 7, 2000, 12–16 pp.
- [30] Lubenskiy L.M., Egorov I.V., Volkov I.V., History of origin vibratory machine, East Ukraine Volodymyr Dahl National University, 2011, 312-320 pp.
- [31] Lanets AS high-performance interresonance vibrating machines with electromagnetic drive: monograph. - Lviv Polytechnic National University, Ukraine, 2008. 30 pp.
- [32] Newton W., *The London Journal of Arts, Sciences and Manufactures, and Repertory of Patent Inventions* - London, 1849. - Vol. XXXIV.
- [33] Zaitsev A. M., Ensuring reliable operation of aircraft engine parts, Moscow, transport, 1971, 196 pp.
- [34] Laidlaw John, Improvement in Kilns for Drying Grain and other Material, GB Patent № 5389, 1897.
- [35] Lejeune Pierre, Patent Improved Apparatus for Sorting or Separating Pulverulent or Granular Substances, more particularly applicable for Extracting: Gold from Auriferous Earth and like, French, 1898.
- [36] James Johnson, Improvements in Sand Blast Machines, US Patent № 190925134, 1909.
- [37] William Vincent Hobkirk, Improvements in and relating to Covers or Guards for Mixing and like Machines, US Patent №191503207,1915.
- [38] Gates Philetus, Vibrator, US Patent № 1486486,1919.
- [39] Whitworth Stanley, Vibro-exciter, US Patent №1629427 A, 1927.
- [40] Gyrotory washer, Machine without rigid kinematic connection, US Patent № 2222777, 1939.
- [41] Gérard Linke, Vorrichtung zum Waschen von Erz u. dgl, DE Patent № 698845, 1940.
- [42] Povidaylo V.A., Vibratory machines in mechanical engineering and instrument making: abstracts of All Union Scientific Conference, Lviv, Ukraine 1973, 242-244 pp.
- [43] Bykhov I. I., Some measurement issues in the study of vibration and shock-vibration machines, Russian patent, LDNTP, 1959.
- [44] Burstein I.E., Babichev A.P., Kartyshov B.N. et al., Volume vibration treatment, Moscow, Engineering, 1970, 96 pp.
- [45] Kartyshov N.I., Shainskiy M.E. Shainskiy Processing parts vibrating loose abrasives in containers, high School, 1975, 188 pp.
- [46] Brant William, corporation Lord Chanical, Apparatus for precision finishing of parts and objects by controlled vibration, US Patent № 2997813, 1961.
- [47] Kamar et al, 2001 T.R. KRAMER, H. HUANG, E. MESSINA, F.M. PROCTOR and H. SCOTT, « A feature-based inspection and machining system », *Computer-Aided Design*, 33-653-669, 2001.
- [48] Kumar el al, 2000 A. S. KUMAR, J.Y.H. FUH and T.S. KOW, « An automated design and assembly of interference-free modular fixture setup », *Computer-Aided Design*, 32, 583-596, 2000.
- [49] kusiak et Huang, 1996 A. KUSIAK and C-C. HUANG, “Development of Modular Products”, *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, Part A*, Vol. 19, No.4, pp. 523-538, 1996.

- [50] Kusiak et Larson, 1995 A. KUSIAK and N. LARSON, “Decomposition and Representation Methods in Mechanical Design”, ASME Transaction, Special 50th Anniversary Design Issue, Vol. 117, pp.17-24, 1995.
- [51] Kyoung-Gee et al, 2006 A. KYOUNG-GEE, M. BYUNG-KWON, J. ZBIGNIEW and P. PASEK, “Modeling and compensation of geometric errors in simultaneous cutting using a multi-spindle machine tool”, Int. J. Adv. Manufacturing Technology, 29: 929–939, 2006.
- [52] Lee et al, 1996 H.S. LEE, E.F. MORITZ and Y. ITO, “Functional Description of Machine Tools and Its Application to Marketability Analysis”, Journal of Engineering Design, Vol. 7, No. 1, pp. 83-94, 1996.
- [54] Harik, 2007 R.F. HARIK, « Spécifications de fonctions pour un système d’aide à la génération automatique de gamme d’usinage : Application aux pièces aéronautiques de structure, prototype logiciel dans le cadre du projet RNTL USIQUICK », Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré Université de Nancy 1, 2007.
- [53] Loulwakhraboutli, these, using building information modeling systems (BIM) in construction projets, A été discuté 28/04/2014, Alep.
- [55] Heisel et Meitzner, 2003] U. HEISEL and M. MEITZNER, “Reconfigurable manufacturing systems,” Academic Journal of Manufacturing Engineering, 1/1: 6–9, 2003.
- [56] Jönsson et al, 2005 A. JÖNSSON, J. WALL and G. BROMAN, “A virtual machine concept for real-time simulation of machine tool dynamics”, International Journal of Machine Tools & Manufacture 45, 795–801, 2005.

ملخص بالعربية

لقد تناولنا في هذه المذكرة خمسة مشاريع وهم المشروع الاول عبارة عن معلومات عامة عن المفهوم والتصميم بمساعدة الحاسوب (C.A.O) اما المشروع الثاني فيتناول المعالجة الجماعية بالاهتزاز والتشطيب والإمكانات التكنولوجية وفي المشروع الثالث عبارة عن نظرة عامة على برنامج تصميم SolidWorks المشروع الرابع نمذجة أجزاء الآلة الاهتزازية وفي الاخير تحدثنا عن كيفية تجميع الآلة الاهتزازية

Summary

We have covered in this note five projects, and they are the first project which is general information about concept and computer-aided design (CAO), the second one deals with collective treatment of vibration, finishing and technological capabilities, and the third project is an overview of the SolidWorks design program, the fourth project is the modeling of parts of the vibratory machine and in the last we talked about How to assemble a vibrating machine

Sommaire

Nous avons couvert dans cette note cinq projets, et il s'agit du premier projet qui fournit des informations générales sur le concept et la conception assistée par ordinateur (CAO), le second traite du traitement collectif des vibrations, de la finition et des capacités technologiques, et le troisième projet est un aperçu du programme de conception SolidWorks, le quatrième projet est la modélisation de pièces de la machine vibratoire et le dernier dont nous avons parlé Comment assembler une machine vibrante