



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEM-  
FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master  
En  
Sciences de l'ingénieur

**Option**

**Ingénierie des systèmes mécaniques et productives**

**Présenté par**

**OUABEL Mohamed Ghouti**

**THÈME**

**Modélisation CAO d'une cintrreuse à tubes manuelle**

**Soutenu en : Octobre 2012**

**Devantlejury:**

Président	Mr. CHEIKH Abdel Majid	Pr	UABB Tlemcen
Encadreur	Mme. CHEIKH Nassima	MAA	UABB Tlemcen
Examineur	Mr. RAHOU Mohamed	MAB	EPST Tlemcen
Examineur	Mr. GUEZZEN Samir	MAB	UABB Tlemcen

Année universitaire : 2011/2012

# Dédicace

*Louanges à dieu Clément et Miséricordieux qui m'a donné la force physique et morale pour réaliser mon rêve, un rêve que je souhaite se prolonger encore longtemps.*

*Je dédie ce mémoire à tous ce qui œuvrent, qui luttent, qui cherchent pour que le savoir soit maître et que chacun de nous soit muni de toutes les armes intellectuelles afin de servir le pays et de vivre noblement.*

- *En cette heureuse et mémorable circonstance, je tiens à remercier vivement mes chers parents des sources intarissables d'affections, d'attention et de dévouement.*
- *A mes frères à leur gentillesse.*
- *Ma tendre grand-mère, le soutien de la famille.*
- *Tous mes enseignants depuis mon entrée à l'école primaire, à qui je dois ce que je suis et ce que je fais.*
- *Mes oncles, et tantes paternels et maternels ; mes cousins et enfin tous ceux qui m'ont soutenu ne serai-ce, que par une petite pensée.*
- *Tous mes amis et mes collègues.*
- *A tous ceux qui m'ont consacré leur temps et leur attention, je dis encore et toujours **MERCI**.*
- *J'espère n'avoir oublié personne.*

*Que Dieu le tout puissant récompense les bienfaisants.*

***OUABEL Mohamed Ghouti***

# Remerciement

*Je remercie « Allah » de m'avoir aidé à terminer ce modeste travail.*

*Au terme de cinq années d'étude au sein du département de génie mécanique, achevées par la rédaction et la soutenance de ce mémoire de master en Génie Mécanique option « ISM », nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué à son bon déroulement.*

*Nos plus sincères remerciements s'adressent d'abord aux membres du jury :*

*Je tiens à remercier Mr CHEIKH Abdel Majid qui a bien voulu présider le jury.*

*J'ai tant de reconnaissance à exprimer à l'égard de Madame CHEIKH Nassima qui m'a proposé ce sujet et a suivi son élaboration avec grand soin. Grâce à ses larges connaissances, ses précieux conseils et ses encouragements, ce travail a été mené à terme. Ce fut en honneur que de travailler avec lui.*

*Je remercie aussi Mr. RAHOU Mohamed, et Mr. GUEZZANE Samir pour l'examen minutieux qu'ils auront porté à l'égard de ce travail.*

*Comme je remercie sans toutefois les citer, tous ce qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.*

**OUABEL Mohamed Ghouti**

# SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

## CHAPITRE I

### GENERALITES SUR LE CINTRAGE ET LA CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR CAO

---

<b>1.1 INTRODUCTION .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 DESCRIPTION SUR LES CINTREUSES .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.1 Définition.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.2 Type des cintreuses.....</b>	<b>3</b>
1.2.2.1 <i>Cintreuse pour tôle .....</i>	<i>3</i>
1.2.2.2 <i>Cintreuse pour tubes .....</i>	<i>4</i>
<b>1.3 DESCRIPTION SUR LE CINTRAGE.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3.1 Définition.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3.2 Type des cintrages .....</b>	<b>5</b>
1.3.2.1 <i>Cintrage à chaud .....</i>	<i>5</i>
1.3.2.2 <i>Cintrage à froid .....</i>	<i>6</i>
1.3.2.3 <i>Cintrage à froid par poussée .....</i>	<i>6</i>
<b>1.4 LA CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR .....</b>	<b>7</b>
<b>1.4.1 Définition.....</b>	<b>7</b>
<b>1.4.2 Historique Développement de la CAO .....</b>	<b>7</b>
<b>1.4.3 Domaines d'application de la CAO .....</b>	<b>8</b>
<b>A. Mécanique.....</b>	<b>8</b>
<b>B. Architecture et travaux publics .....</b>	<b>9</b>
<b>C. Circuits électriques et électroniques.....</b>	<b>9</b>
<b>D. Physique et chimie .....</b>	<b>9</b>
<b>E. Industries du vêtement et de la chaussure .....</b>	<b>9</b>
<b>F. Médecine .....</b>	<b>10</b>

<i>G. Domaine artistique</i> .....	10
<b>1.4.4 Technique de représentation en CAO</b> .....	10
1.4.4.1 <i>Mode de fil de fer</i> .....	10
1.4.4.2 <i>Mode surfacique</i> .....	10
A. Du surfacique en général .....	10
B. Par facettes planes.....	11
C. Par surfaces gauches .....	11
1.4.4.3 <i>Mode volumique</i> .....	11
<b>1.4.5 Les fonctions des systèmes de CAO</b> .....	12
<b>1.5 Conclusion</b> .....	12

## CHAPITRE II

### MODELISATION DES PIECES DE LA CINTREUSE

---

<b>2.1 Introduction</b> .....	13
<b>2.2 Modélisation</b> .....	13
<b>2.2.1 Définition</b> .....	13
2.2.1.1 <i>Avantages</i> .....	13
2.2.1.2 <i>Inconvénients</i> .....	14
<b>2.3 Modélisation de notre cintreuse</b> .....	14
<b>2.3.1 Choix de l'outil informatique de CAO</b> .....	15
<b>2.3.2 Aperçue sur SolidWorks 2010</b> .....	15
2.3.2.1 <i>Définition</i> .....	15
2.3.2.2 <i>Historique</i> .....	15
2.3.2.3 <i>Caractéristiques de SolidWorks</i> .....	16
2.3.2.4 <i>Fonctionnement</i> .....	16
a. Pièce.....	17
b. Assemblages.....	17
c. Mise en plan .....	17
<b>2.3.3 Modélisation des différentes pièces d'une cintreuse manuelle</b> .....	18

2.3.3.1	<i>Modélisation de la Pièce 1</i> .....	19
2.3.3.2	<i>Modélisation de la Pièce 2 (Vis)</i> .....	19
2.3.3.3	<i>Modélisation de la Pièce 3 (tige1)</i> .....	24
2.3.3.4	<i>Modélisation de la Pièce 4 (Tige 2)</i> .....	26
2.3.3.5	<i>Modélisation de la Pièce 5 (crochet)</i> .....	26
2.3.3.6	<i>Modélisation de la Pièce 6 (Galet)</i> .....	29
2.3.3.7	<i>Modélisation de la Pièce 7 (manette)</i> .....	32
2.3.3.8	<i>Modélisation de la Pièce 8 (Sabot cintreur)</i> .....	34
<b>2.4</b>	<b>Conclusion</b> .....	<b>34</b>

## **CHAPITRE III**

### **ASSEMBLAGE ET RETROCONCEPTION DE LA CINTREUSE**

---

<b>3.1</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>37</b>
<b>3.2</b>	<b>Assemblage</b> .....	<b>37</b>
3.2.1	<b>Assemblage avec contraintes</b> .....	37
3.2.2	<b>Assemblage avec le complément SolidWorks motion</b> .....	44
<b>3.3</b>	<b>Mise en plan</b> .....	<b>47</b>
<b>3.4</b>	<b>Conclusion</b> .....	<b>57</b>

## **CHAPITRE IV**

### **ANALYSE DU CROCHET (PIECE 5)**

---

<b>4.1</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>58</b>
<b>4.2</b>	<b>Définition de SimulationXpress</b> .....	<b>58</b>
<b>4.3</b>	<b>Analyse de la pièce 5 (crochet)</b> .....	<b>59</b>
4.3.1	<b>Application des déplacements imposés</b> .....	59
4.3.2	<b>Application des chargements</b> .....	60
4.3.3	<b>Choix du matériau de la pièce</b> .....	60

<b>4.3.4</b>	<b>Exécution de la simulation .....</b>	<b>61</b>
<b>4.4</b>	<b>Analyse de la pièce 5 avec autre matériau.....</b>	<b>64</b>
<b>4.5</b>	<b>Analyse de la pièce 5 avec modification dans sa conception.....</b>	<b>67</b>
<b>4.6</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>70</b>
<b>CONCLUSION</b>	<b>.....</b>	<b>71</b>

# INTRODUCTION

L'utilisation de l'ordinateur dans les procédés de fabrication, de conception, de simulation et d'analyse numérique en mécanique, ne cesse de se développer et de se généraliser d'année en année dans la recherche industrielle privée ou publique (constructeurs automobile, aéronautique, spatial...) améliorant ainsi la productivité des industriels et la vie de tous les consommateurs. En effet l'avenir est à l'outil numérique et à la réalité virtuelle.

La solution d'analyse par éléments finis optimise le prototypage virtuel et la simulation numérique pour l'entreprise en utilisant les hypothèses de la mécanique de la rupture en élasticité et de la dynamique. Ainsi elle simule et améliore les performances des composants, des matériaux et des produits sujets à de fortes exigences opérationnelles (sécurité, endommagement...).

La simulation et l'analyse numérique ont un impact direct sur la qualité et le temps de mise sur le marché des produits ; de plus, elles accroissent les performances des solutions de gestion du cycle de vie du produit. Elles sont apparues, dans le désir de minimiser le coût d'une étude avec un nombre d'essais optimisés. La difficulté est de créer un modèle C.A.O. se rapprochant au maximum de la réalité (matériaux, conditions aux limites...).

Parmi les produits apparus dans l'industrie, les cintreuses constituent un outil indispensable pour les entreprises spécialisées dans la fabrication des mobiliers indispensables dans notre vie quotidienne, tels que les citernes, les tuyaux, les cuves...ect. Aujourd'hui Il est impérieux pour les industriels d'augmenter leurs capacités de production et de respecter les délais de livraison. La mise en place d'un système de production automatisé pour produire une quantité suffisante et de bonne qualité est plus que jamais nécessaire.

Le but de notre travail n'est pas seulement la rétro-conception d'une cintreuse manuelle à tube 14mm, mais aussi l'analyse assistée par ordinateur de l'une de ses pièces avec un logiciel de CAO.

Le logiciel utilisé pour la conception est SOLIDWorks. Ce logiciel de CAO, qui a fait ses preuves dans le domaine. Nous ne donnerons pas de détails quant à son principe et ses fonctions.

L'analyse de la construction est réalisée par SimulationXpress : un module complémentaire de la famille SolidWorks. C'est un logiciel puissant et simple à utiliser.

Notre mémoire est organisé comme suit :

- ❖ Le premier chapitre contient des généralités sur la cintreuse et aperçu général sur la conception assisté par ordinateur.

- ❖ Le deuxième chapitre est consacré à une présentation du logiciel Solidworks version 2010 ainsi que les différentes étapes pour la conception de chaque élément de la cintreuse.

- ❖ L'assemblage et la mise en plan de notre cintreuse a fait l'objet du troisième chapitre.

- ❖ Les résultats des calculs (dimensions des pièces) seront exploités au quatrième chapitre pour l'analyse par SimulationXpress de la pièce 5 (le crochet) pour laquelle nous avons déterminé les contraintes, les déformations et les déplacements pour deux matériaux différents. Par la suite une comparaison entre les résultats a été faite.

- Enfin notre travail s'achève par une conclusion générale suivie des perspectives.

## 1.1 INTRODUCTION

Les cintreuses constituent un outil indispensable pour les entreprises spécialisées dans la fabrication des mobiliers ainsi que dans notre vie quotidienne.

Dans ce chapitre on présente un aperçu général sur les cintreuses, le cintrage et la conception assistée par ordinateur (CAO).

## 1.2 DESCRIPTION DES CINTREUSES

### 1.2.1 Définition

Une cintreuse est utilisée pour le cintrage, c'est à dire le pliage, la déformation de pièces métalliques pour leur donner des formes arrondies ou courbées. Il existe plusieurs types de cintreuses suivant s'il s'agit de tôles ou de profilés. Le cintrage de profilés de métal permet d'obtenir par exemple des portails en fer ou des rambardes diverses. Le cintrage de la tôle s'opère pour la création de citernes et de cuves. Les cintreuses sont souvent utilisées par les professionnels d'installation techniques sanitaires et/ou de chauffage, les techniciens du froid et dans l'industrie.

Les matériaux qui composent les cintreuses sont généralement l'acier et le plastique résistant ainsi que de l'électronique pour les cintreuses professionnelles. [1]

### 1.2.2 Type des cintreuses

#### 1.2.2.1 Cintreuse pour tôle [2]

Les cintreuses des tôles sont destinées au cintrage des tôles d'acier ou d'autres tôles, et en version manuelle et électrique, dont voici quelques exemples.



Fig. 1.1 Cintreuse de tôle manuelle



**Fig. 1.2 Cintreuse de tôle électrique**

1.2.2.2 *Cintreuse de tubes [3]*

Les cintreuses des profilés sont destinées au cintrage de divers matériaux de profilé pour obtenir des formes rondes, courbées et spirales, et les cintreuses en version manuelle, hydraulique et électrique.



**Fig. 1.3 Cintreuse de tube manuelle**



**Fig. 1.4 Cintreuse de tube hydraulique**



**Fig. 1.5 Cintreuse de tube électrique**

### **1.3 DESCRIPTION SUR LE CINTRAGE**

#### **1.3.1 Définition**

L'opération de cintrage présente des difficultés liées aux précautions à prendre pour éviter des déformations susceptibles de se produire sous l'action des efforts appliqués à une section circulaire de faible épaisseur.

Ces difficultés peuvent être évitées par l'emploi de raccords dits (courbe du commerce) parfaitement calibrés qu'il est possible de souder. On peut également éviter le cintrage en utilisant des coudes en segments. Cette solution est même indispensable dans le cas de grosses conduites, les segments sont assemblés par soudage et quelques fois par agrafage pour les petites conduites d'aspiration en tôle mince. Ces coudes peuvent être exécutés à partir des tubes ou de viroles en tôle.

Cependant le cintrage est souvent la seule solution possible ou rationnelle pour les tubes minces. Les tubes sont d'ailleurs classés en trois catégories en fonction du rapport  $D/e$  et le cintrage est d'autant plus difficile que ce rapport est grand.

- Tubes épais  $D/e < 15$
- Tubes moyens  $15 < D/e < 30$
- Tubes très minces  $D/e > 30$

Le coefficient de cintrage  $k = (D/R) (D/e)$  permet d'appréhender la difficulté de cintrage. [4]

#### **1.3.2 Type des cintrages [5]**

On distingue 3 types de cintrages :

- Cintrage à chaud
- Cintrage à froid
- Cintrage à froid par poussée.

### 1.3.2.1 Cintrage à chaud

Le cintrage à chaud d'un tube préalablement rempli de sable sec est une opération qui nécessite une main expérimentée.

Ce type d'opération de cintrage est de plus en plus abandonné au profit du cintrage à froid.

Toute fois les coudes à chaud sont parfois la seule façon d'opérer pour obtenir des cintrages de tubes sur de faibles épaisseurs.

### 1.3.2.2 Cintrage à froid

Il peut arriver qu'en cintrage, le tube s'ovalise, se plisse ou se déchire. Cela peut provenir d'un mauvais réglage, d'une incompatibilité du tube ou de la machine pour le travail envisagé. Ensuite des rapports entre le diamètre du tube, son épaisseur et le rayon de cintrage doivent rester dans des limites convenables. Les tubes finis à chaud ou recuits ont un allongement supérieur à celui des tubes formés à froid qui sont plus ou moins écrouis.

### 1.3.2.3 Cintrage à froid par poussée

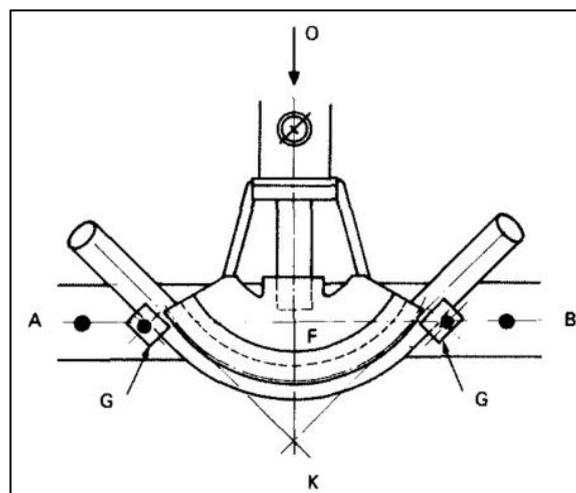
Une cintreuse est constituée par un socle.

Sur la base du bâti, sont fixés deux coussinets à gorge (dits coussinets latéraux) G et G' situés à égale distance du milieu K de cette base.

Ces coussinets latéraux forment les deux points d'appui du tube. La tête de l'appareil presseur, vis ou piston, coïncidera avec le sommet O du bâti.

La vis ou le piston poussera, suivant l'axe O K, et à égale distance entre les deux coussinets latéraux, une forme à gorge F (dite sabot) qui exercera sur le tube sa pression en K et l'obligera à épouser sa forme.

Le principe ressemble à la flexion. Un effort généré sur une pièce en deux appuis. Le tube, une fois cintré, s'enlève facilement du sabot F.



**Fig. 1.6 Cintrage à froid par poussée**

## **1.4 LA CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR**

### **1.4.1 Définition**

La conception assistée par ordinateur (CAO) est le domaine des logiciels et des techniques permettant de concevoir, de tester et de réaliser des outils et des produits manufacturables.

La (CAO) permet de concevoir des systèmes dont la complexité dépasse la capacité de l'être humain comme par exemple en micro-électronique. La conception virtuelle permet l'appréciation globale du comportement de l'objet créé avant même que celui-ci n'existe. En (CAO) on ne dessine pas, on construit virtuellement un objet capable de réagir dans son espace non réel selon des lois régies par le logiciel. Le résultat, appelé maquette numérique constitue alors un véritable prototype évolutif. [6]

### **1.4.2 Historique de développement 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 leurs efforts pour mettre sur pied le premier écran graphique et ont abouti au projet nommé DAC 1 (Design Augmented by Computer). L'équipement comprenait un tube cathodique de grandes dimensions, un crayon électronique, un projecteur de microfilm, le tout branché sur un calculateur 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, Cisigraph, Computer-vision, Hewlett-Packard, IBM, Intergraph, etc.). [7]

### 1.4.3 Domaines d'application de la CAO [7]

Les domaines d'application de la CAO sont nombreux et il est difficile d'en établir une liste exhaustive. Chaque fois que le processus de création est associé à la construction d'une figure, on peut en effet assister le concepteur en mettant à sa disposition un système graphique. On trouve donc des applications de la CAO dans des bureaux d'étude produit, dans des bureaux d'études de moyens de production (machines catalogues, machines spéciales, outils de presse, matrices de forge, moules, etc.) et dans les bureaux d'architectes d'ingénierie bâtiments ; la CAO est aussi un outil très intéressant pour certains laboratoires de recherche.

Nous avons choisis de classer les applications par grands secteurs d'activité :

#### A. Mécanique

La CAO est surtout très développée dans les grandes sociétés aéronautiques, navales et automobiles, le marché de la CFAO mécanique représentant 60% du marché total de la CFAO. Promet une forte pénétration dans le secteur des moyennes entreprises de mécanique

- Définition géométrique précise des formes complexes des fuselages et ailes d'avion, des coques de navire, des carrosseries automobiles en vue d'un dessin et d'un usinage par commande numérique ;
- Conception automatique à l'aide de concepts géométriques des pièces intérieures et de pièces de structure dans les secteurs précités ;
- Etude et dessin d'outils de formage, d'assemblage, de moulage, de forgeage, plus la fabrication de ces moyens fait appel à des éléments normalisés, plus l'automatisation peut être développée.
- Etude de petits mécanismes par la cinématique ;
- Conception de composants mécaniques (vérins, pompes, roulements, paliers, cames, essuie-glaces pour pare-brise d'automobile, lève-glaces, etc.) et leur cotation automatique ;

- Calcul de poutres, de nœuds d'assemblage et de structures complexes avec possibilité de simuler la circulation des efforts et de représenter les déformées correspondantes ;
- Débattements d'organes mobiles (roues, portes, trains d'atterrissage) pour étude de leur environnement et vérification des proximités;
- Simulation des zones de vision avant et arrière dans une automobile, un avion ;
- Simulation d'atterrissage par visualisation animée de la piste ou du porte-avions ;

#### *B. Architecture et travaux publics*

- Étude de bâtiments d'habitation ou industriels et conception des ponts.
- Schémas d'implantation avec le réseau des distributions des différents fluides
- Optimisation des tracés des tuyauteries

#### *C. Circuits électriques et électroniques*

- L'étude et la fabrication des circuits électroniques ont longtemps été les principales applications de la CFAO
- Le perçage des cartes, leur gravure, la mise en place des composants peuvent ensuite être complètement automatisée.

#### *D. Physique et chimie*

La conception assistée par ordinateur est utilisée pour la conception de filtres optiques, la simulation de phénomènes physiques (aérodynamiques, hydrodynamiques et vibratoires), la représentation tridimensionnelle de molécules complexes,.....

#### *E. Industries du vêtement et de la chaussure*

On utilise la CFAO dans ces industries pour concevoir et fabriquer de nouvelles gammes de produits. Les usines les plus modernes sont totalement intégrées :

- calcul du découpage des différentes pièces qui composent le vêtement ou la chaussure, puis découpage sur machine laser; calcul des moules pour les chaussures thermoformées ;
- assemblage des pièces par couture,
- déduction en CAO de toutes les tailles voulues à partir d'une taille d'origine.

### F. Médecine

On utilise la représentation graphique par ordinateur des déformations du cœur pour l'étude et la prévision des accidents cardiaques. On utilise également la CAO pour la conception de prothèses osseuses et l'étude d'organes artificiels.

### G. Domaine artistique

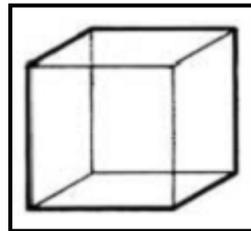
Dans ce domaine, la CAO a de nombreuses applications :

- animations publicitaires, montages pour des génériques d'émissions de télévision ou de films,
- dessins animés, le film étant réalisé par photographies successives des images obtenues à l'écran.

## 1.4.4 Technique de représentation en CAO [8]

### 1.4.4.1 Mode de fil de fer

Les autres appellations de cette modélisation sont linéiques, treillis ou fil de fer. C'est le premier niveau de modélisation dans l'espace. Elle utilise les mêmes entités géométriques que le 2D, en y ajoutant la troisième dimension. Elle est donc basée sur des points et des lignes. L'objet est décrit par ses sommets (points) et ses arêtes (lignes qui relient ces sommets). Pour gérer la notion de pièce, on ne pourra utiliser que des points appartenant aux arêtes ; ce sont les seuls repérables. La figure 1.7 illustre le mode de fil de fer (mode filaire).



**Fig. 1.7 Mode de fil de fer**

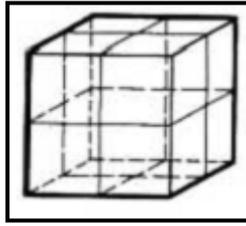
### 1.4.4.2 Mode surfacique

#### A. Du surfacique en général

Cette modélisation est le premier outil du concepteur de formes car elle prend en compte la notion de surface dont elle permet la représentation et la manipulation.

Un objet est défini par son enveloppe, ses surfaces-frontières. On gère les intersections de surfaces et on applique des règles de contrôle topologique (ouvert/fermé, intérieur/extérieur) pour « créer » des objets.

La figure 1.8 présente le mode surfacique.



**Fig. 1.8 Modes surfaciques**

B. Par facettes planes

C'est la méthode la plus couramment utilisée en surfacique. L'objet y est représenté par des facettes. On habille une structure filaire avec ces facettes polygonales planes (ou « carreaux »). Il est possible d'obtenir une visualisation correcte de l'objet en utilisant un grand nombre de facettes.

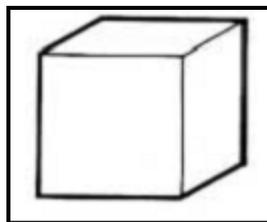
C. Par surfaces gauches

Cette méthode est employée quand la surface à définir est trop complexe pour être définie par des surfaces simples (planes, cylindriques, sphériques, coniques...). La surface à définir l'est alors par des fonctions polynomiales paramétrées. Son utilisation est indispensable pour la commande numérique, car on connaît mathématiquement tout point de la surface.

*1.4.4.3 Mode volumique*

C'est la représentation la plus complète donne les propriétés géométrique de l'objet solide, les différents vue, les sections et les coupes. Comme présente la figure 1.9

- Modélisation par géométrie solide constructive : Les solides sont définis par la combinaison de primitive, par l'intermédiaire d'opération booléennes et de transformation de solide (rotation, extrusion..).
- Modélisation par la représentation de bordure : Le principe est de stocker une liste des points, des côtes et de face pour chaque objet



**Fig. 1.9 Mode solide**

### **1.4.5 Les fonctions des systèmes de CAO**

- Modélisation numérique ;
- Simulation mécanique et calcul des matériaux ;
- Représentation graphique ;
- Dessin de plan ;
- Manipulation d'objets 3D ;
- Gestion de grands assemblages. [9]

### **1.5 Conclusion**

Dans ce chapitre on a présenté un état de l'art sur le cintrage d'une façon générale et les cintruses dont on a donné quelques exemples. On a ensuite défini la conception assistée par ordinateur (CAO) comme étant des techniques informatisées permettant de concevoir, de tester et de simuler le comportement de l'objet à créer avant même que celui-ci n'existe. On a aussi parlé de l'intérêt de la CAO dans la production et ses applications dans divers secteurs.

Fig. 1.1 Cintreuse de tôle manuelle..... - 3 -

Fig. 1.2 Cintreuse de tôle électrique..... - 4 -

Fig. 1.3 Cintreuse de tube manuelle..... - 4 -

Fig. 1.4 Cintreuse de tube hydraulique ..... - 4 -

Fig. 1.5 Cintreuse de tube électrique ..... - 5 -

Fig. 1.6 Cintrage à froid par poussée..... - 6 -

Fig. 1.7 Mode de fil de fer ..... - 10 -

Fig. 1.8 Modes surfaciques..... - 11 -

Fig. 1.9 Mode solide ..... - 11 -

**1.4.5 Les fonctions des systèmes de CAO ..... - 12 -**

## 2.1 Introduction

Dans ce chapitre on va faire la modélisation des différentes pièces de notre cintreuse pour cela on utilise le laboratoire de métrologie pour mesurer ces pièces.

Pour la conception des différentes pièces de la cintreuse on va utiliser l'outil de conception SolidWorks 2010 en suivant les étapes de la modélisation de chaque pièce.

## 2.2 Modélisation [8]

### 2.2.1 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, la plus réelle 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).

#### 2.2.1.1 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.

Il est possible de visualiser l'objet sous différents angles : l'utilisateur définit lui-même les directions d'observation qu'il désire, et ceci d'une manière simple. Suivant le modèle et le logiciel, il est possible de faire varier le type de représentation (ombrage, élimination des arêtes cachées...). Mais il faut noter que le 3D (les logiciels eux-mêmes ou leur utilisation) ne doit pas se limiter à faire de « belles images ».

L'ouverture du modèle permet la connexion avec des logiciels spécifiques en vue de réaliser différentes applications ou opérations telles que calculs de structures, élaboration de gammes d'usinage, programmation de machines-outils à commande numérique...

### 2.2.1.2 Inconvénients

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

- les coûts ;
- les temps ;
- les applications.

Les logiciels 3D coûtent plus cher que les 2D.

Le 3D demande souvent un temps d'apprentissage plus long que le 2D. Ces logiciels possèdent un nombre de commandes plus important et sont d'utilisation plus complexe.

Ils demandent aussi un temps d'adaptation plus important car ils apportent des changements plus profonds dans les méthodes de travail.

Ils ont une gamme d'applications différente du 2D. Le choix de ces applications doit être sérieusement étudié sous peine de se révéler très pénalisant pour l'utilisateur : essentiellement en temps et en motivation.

## 2.3 Modélisation de notre cintreuse

Pour faire la modélisation des différentes pièces de notre cintreuse on a utilisé différents moyens de mesure disponibles dans notre laboratoire tels que le pied à coulisse, micromètre palmer, et l'équerre rapporteur d'angle, voir figures (2.1, 2.2, 2.3)

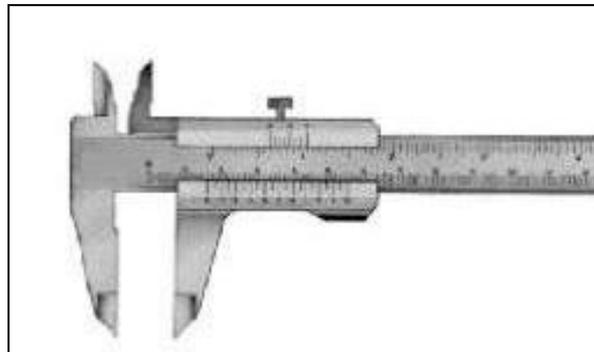


Fig. 2.1 Le pied à coulisse



Fig. 2.2 Micromètre palmer



**Fig. 2.3 Équerre rapporteur d'angle**

### 2.3.1 Choix de l'outil informatique de CAO

Pour la conception assistée par ordinateur des géométries des différentes pièces on utilise l'outil de CAO SolidWorks 2010.

On a choisi l'outil informatique SolidWorks 2010 pour les raisons suivantes :

- petite expérience pendant un semestre dans l'université avec mon encadreur.
- disponibilité du logiciel sur le marché et facilité de téléchargement à partir d'internet.

### 2.3.2 Aperçu sur SolidWorks 2010

#### 2.3.2.1 Définition

SOLIDWORKS est un logiciel de CAO conçu pour la modélisation d'objets en trois dimensions. Très performant, il permet de représenter graphiquement ce qui existe, et au-delà de cette représentation, il assure la conception de nouvelles pièces à partir d'autres pièces: la réalisation de prototypes virtuels.

Associé à d'autres logiciels, il permet notamment de s'affranchir de la partie programmation de pièces complexes, pour assurer la réalisation de celles-ci sur une machine à commande numérique : conception et fabrication assistées par ordinateur (CFAO) (logiciel Cam Works).

Des pièces conçues en trois dimensions on obtient automatiquement la représentation en deux dimensions : des plans (perspectives, dessins de définitions), des coupes, des éclates et leurs réactualisations. [10]

#### 2.3.2.2 Historique

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

En juillet 1997, DASSAULT SYSTEM rachète la société qui est détentrice de la licence du produit et l'intègre dans l'univers DASSAULT. [11]

### 2.3.2.3 Caractéristiques de SolidWorks [12]

- a. Modèle géométrique : Le plus complet utilisé dans les systèmes de CAO, utilisant les informations qui relient les géométries de modèle entre elles.
- b. Paramétrique : Les cotes et les relations utilisées pour créer une fonction sont saisies et stockées dans le modèle, ce qui permet de les changer rapidement et sans difficulté.
- c. Basé sur des fonctions : On peut classer les fonctions de SolidWorks en deux catégories :
  - Fonction esquissée : basée sur une esquisse 2D (enlèvement de matière, extrusion ...).
  - Fonction appliquée : sont les fonctions créées directement sur le modèle volumique (chanfrein, congé, ...).
- d. Associatif : Les changements introduits dans le modèle sont directement reflétés dans les mises en plans ou les assemblages qui lui sont associés.

### 2.3.2.4 Fonctionnement [13]

SolidWorks est un modéleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan, voir figure 2.4. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés (associativité).

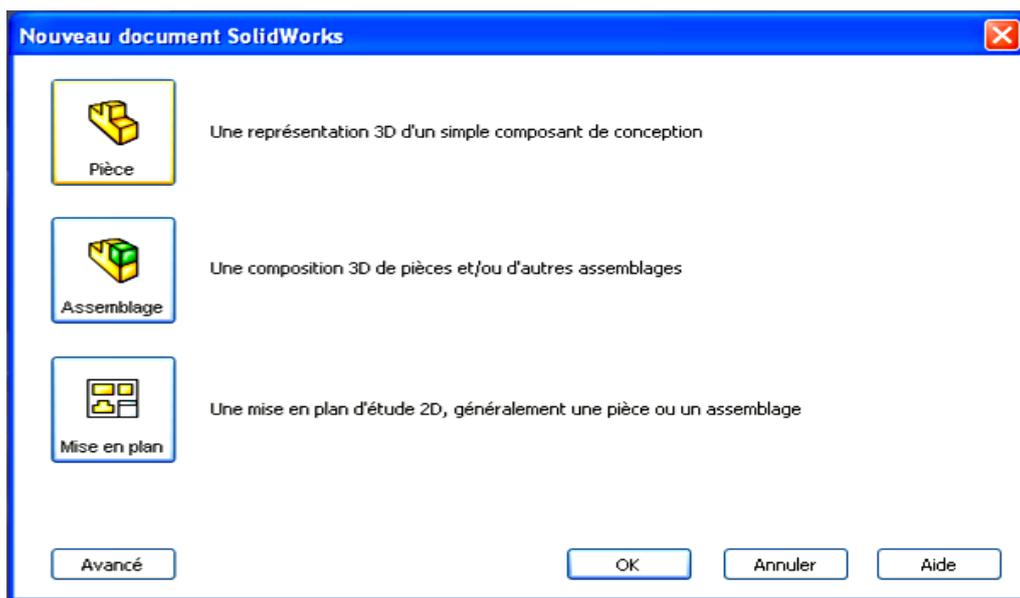


Fig. 2.4 Les trois concepts de base (SolidWorks)

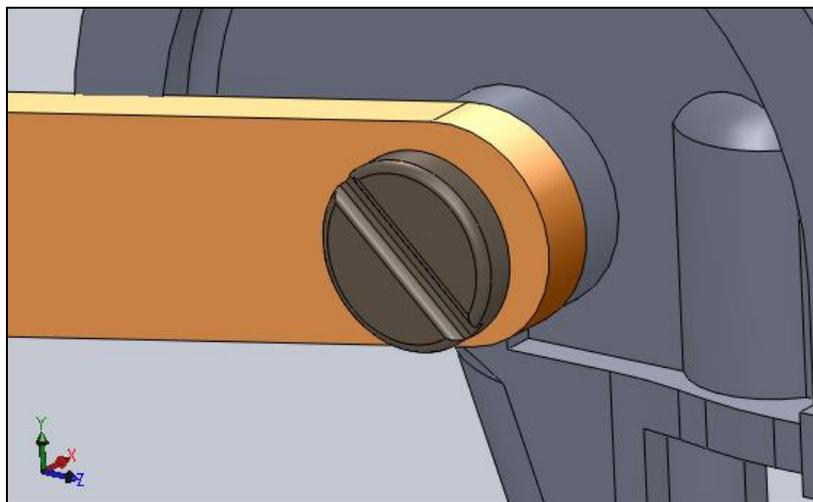
Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un même système constitue une maquette numérique. De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur SolidWorks. Des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois, BTP...), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle.

#### a. Pièce

Une pièce est la réunion d'un ensemble de fonctions volumiques avec des relations d'antériorité, des géométriques, des relations booléennes (ajout retrait)... Cette organisation est rappelée sur l'arbre de construction. Chaque ligne est associée à une fonction qu'on peut renommer à sa guise.

#### b. Assemblages

Les assemblages sont obtenus par la juxtaposition de pièces. La mise en position de pièces est définie par un ensemble des contraintes d'assemblage associant, deux entités respectives par une relation géométrique (coïncidence, tangence, coaxialité...). Dans une certaine mesure, ces associations de contraintes s'apparentent aux liaisons mécaniques entre les pièces. Le mécanisme monté, s'il possède encore des mobilités, peut être manipulé virtuellement. On peut alors aisément procéder à des réglages à l'aide des différents outils disponibles (déplacement composants, détection de collision ou d'interférence, mesure des jeux, ect...).



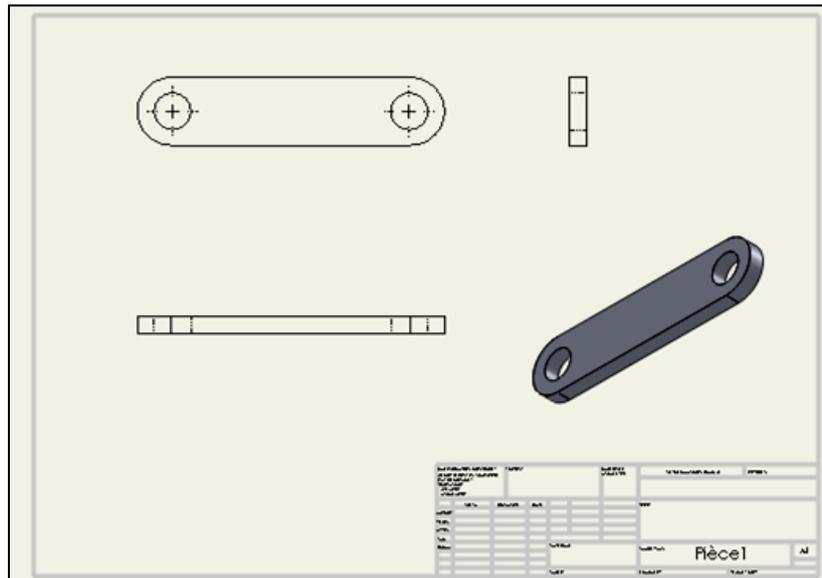
**Fig. 2.5 Assemblage des pièces**

#### c. Mise en plan

Une fois les pièces ou assemblages créés, il est possible de générer automatiquement les mise en plan (représentation 2D) avec insertion automatique des côtes et liaisons entre les vues 2D et le modèle 3D.

De plus, des fonctions d'habillage (texte, hachure, cotation,...) permettent à l'utilisateur d'annoter rapidement un plan.

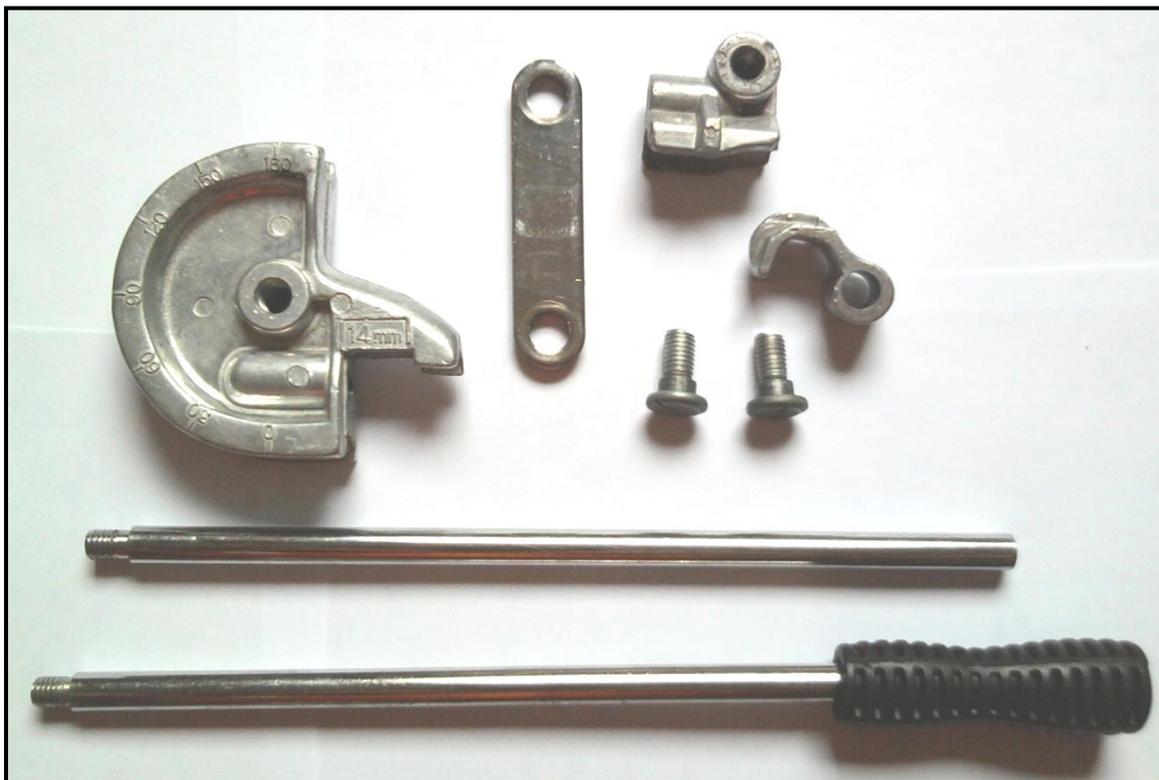
Pour faire des mises en plan, il est tout d'abord nécessaire d'avoir des fonds de plan pour y projeter les dessins. Ces fonds de plans ont un format (A4, A3,...), une orientation (portrait ou paysage) et contiennent éventuellement un cartouche. La figure 2.6 présente la mise en plan d'une pièce.



**Fig. 2.6 Mise en plan d'une pièce**

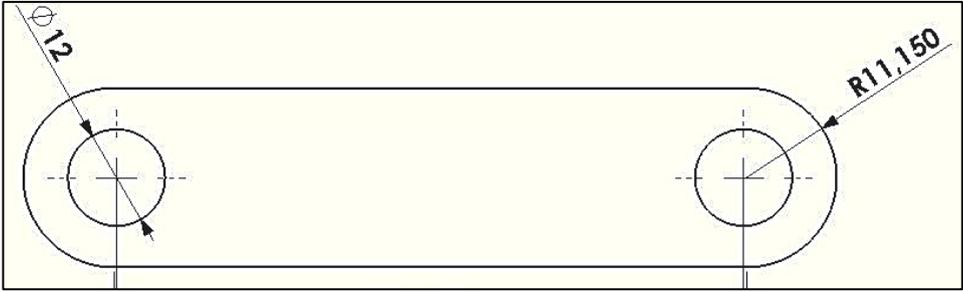
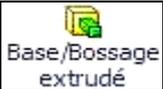
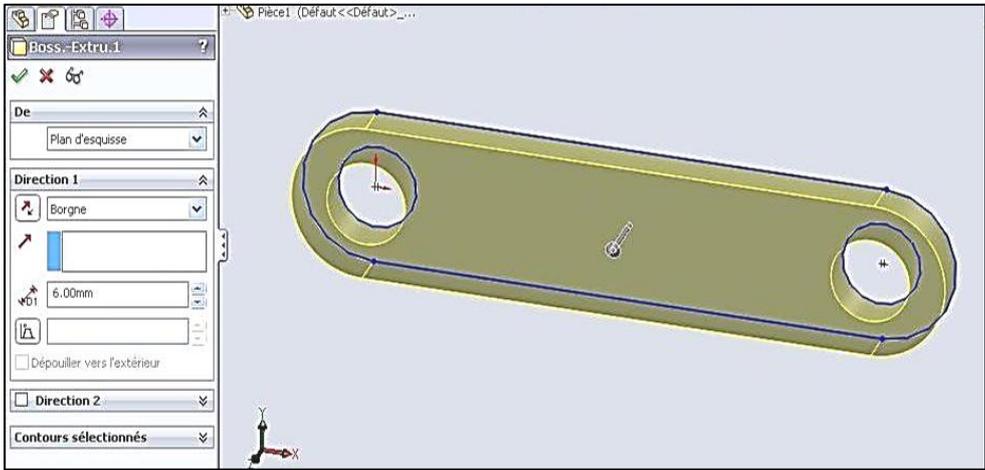
### 2.3.3 Modélisation des différentes pièces de notre cintreuse manuelle

La figure 2.7 suivante présente les éléments de notre cintreuse

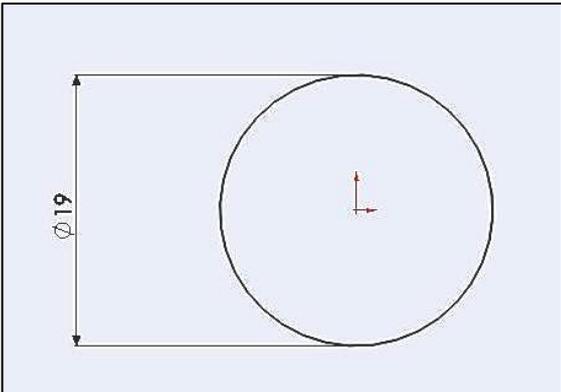


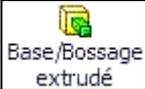
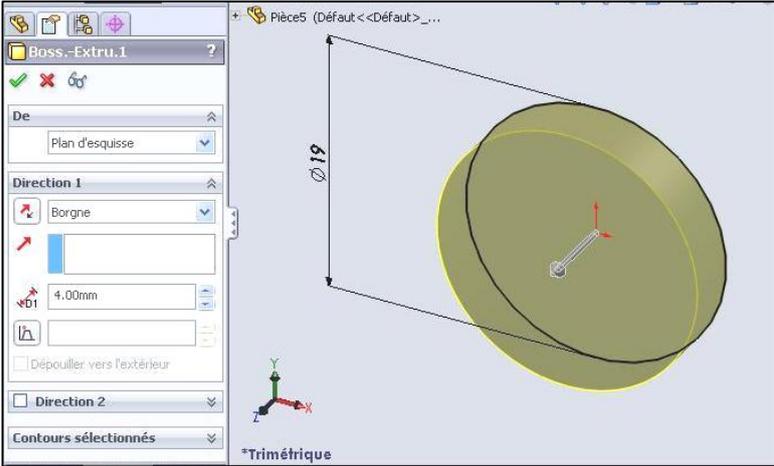
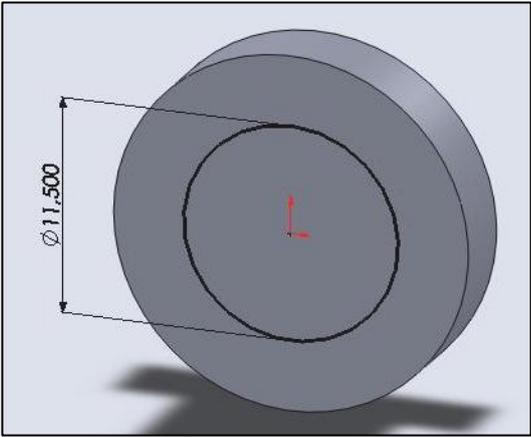
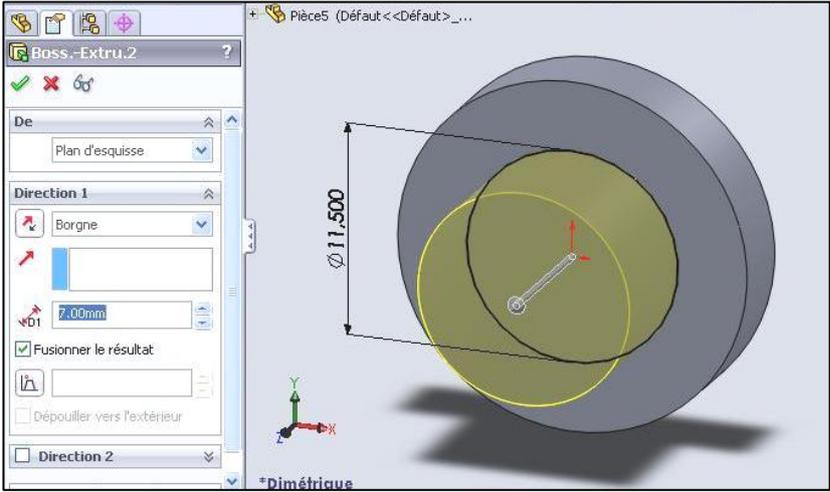
**Fig. 2.7 Différentes pièces de notre cintreuse**

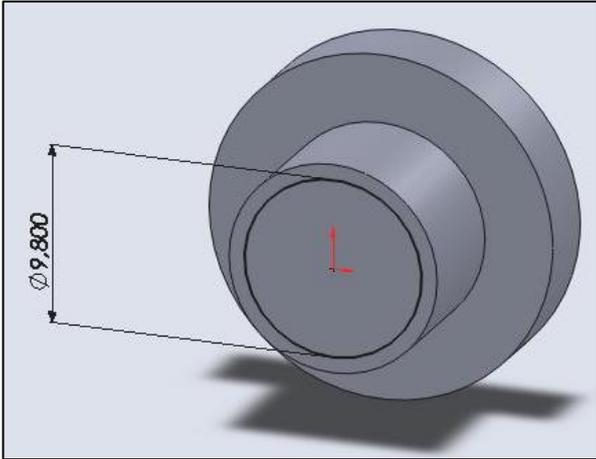
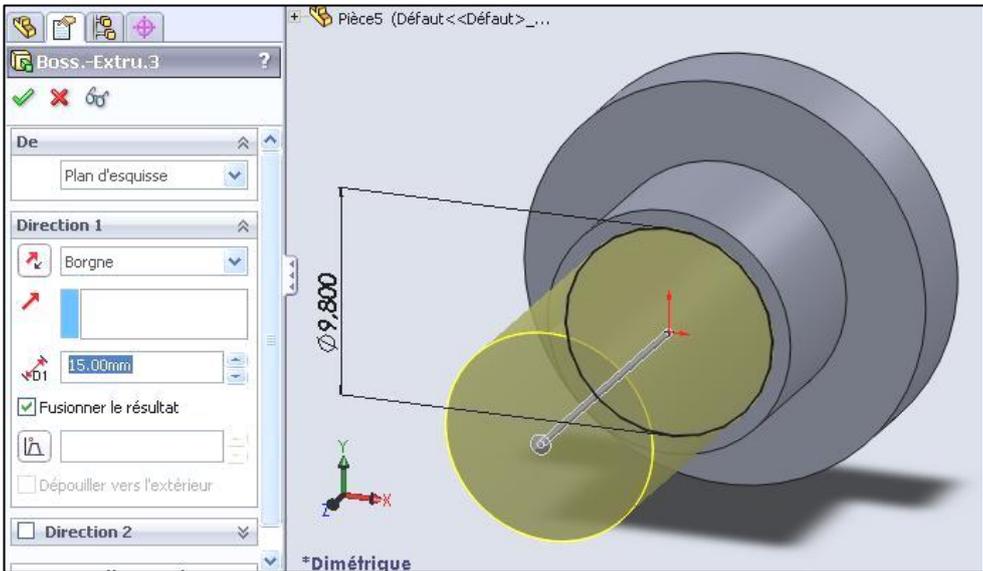
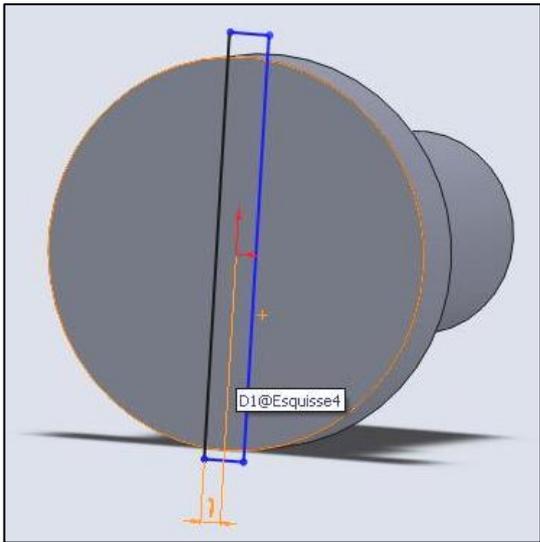
2.3.3.1 Modélisation de la Pièce1

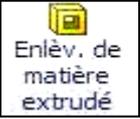
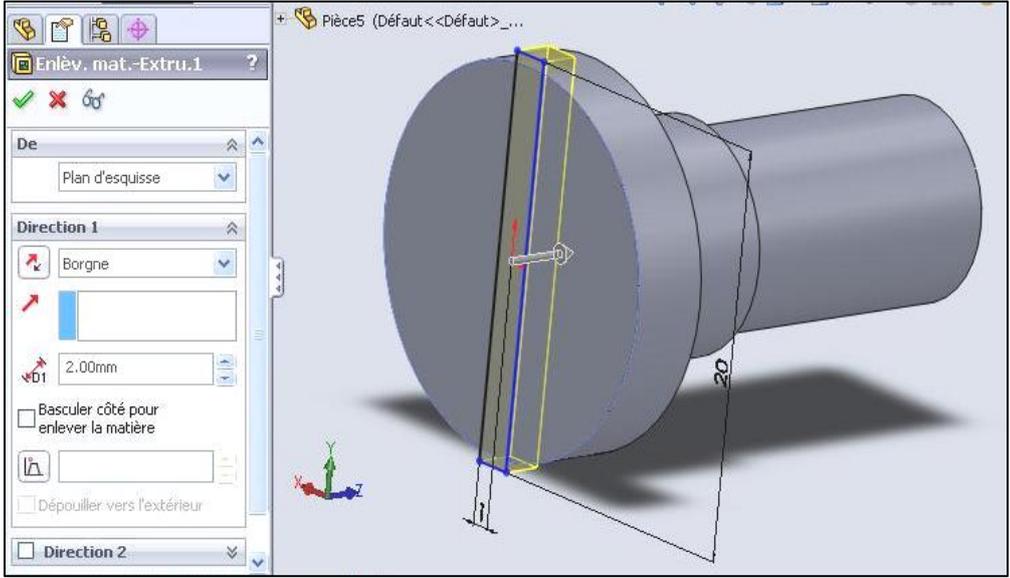
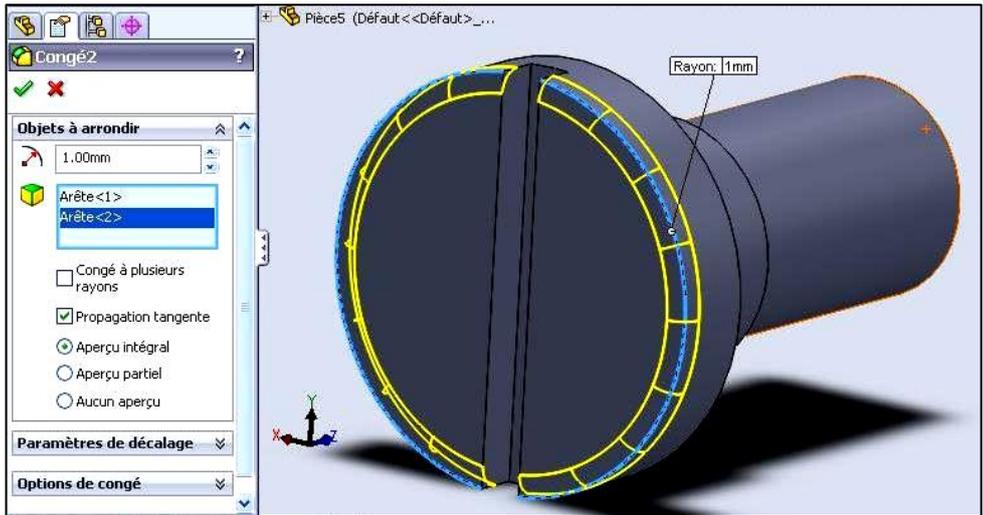
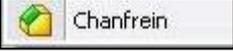
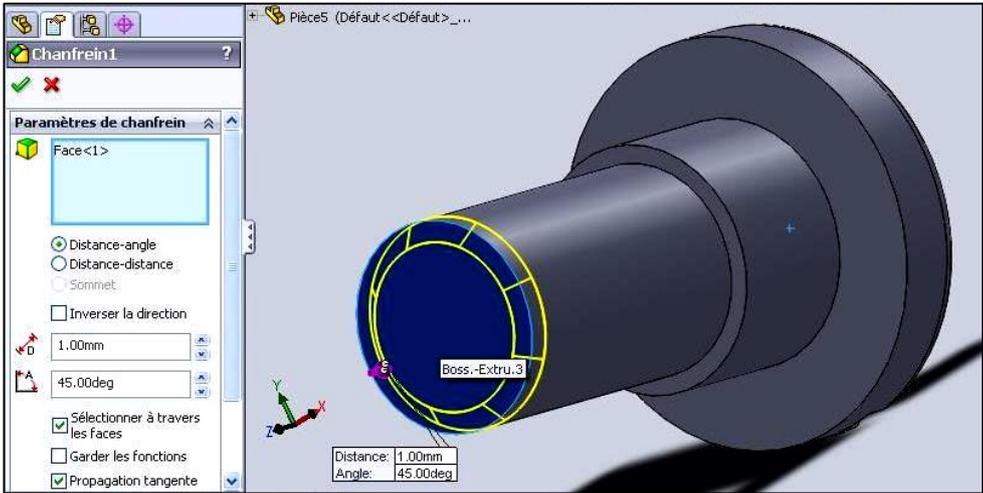
1	Démarrer SolidWorks et Ouvrir une nouvelle pièce.	
2	Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre en la cotant.	
3	<p>Extruder</p>  <p>l'esquisse à une épaisseur de 6 mm. Le modèle est prêt.</p>	

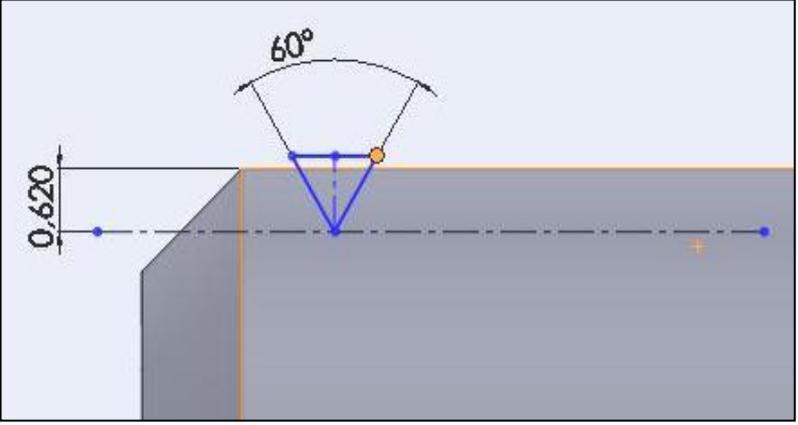
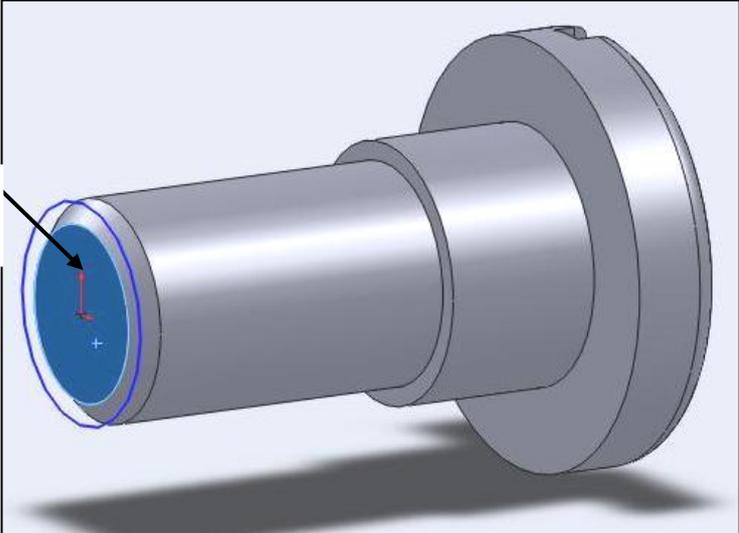
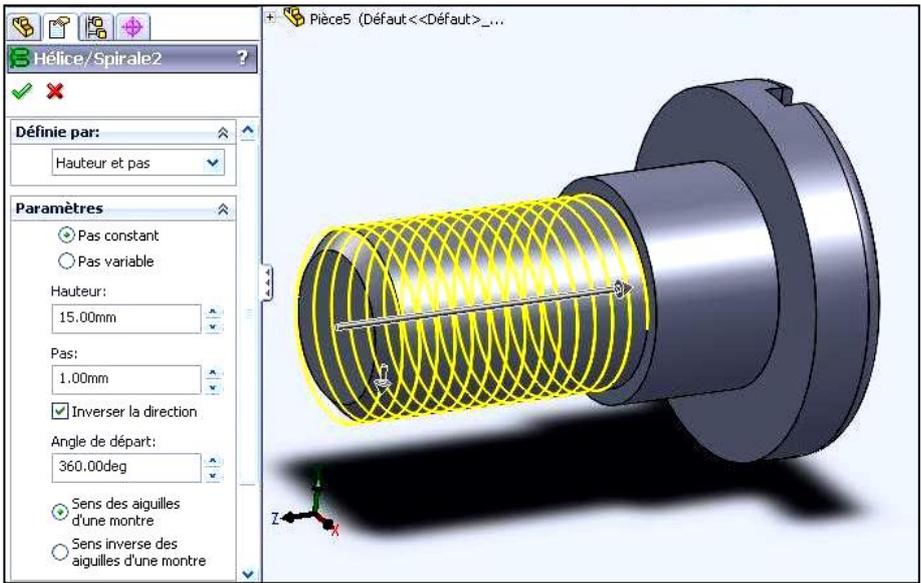
2.3.3.2 Modélisation de la Pièce2 (Vis)

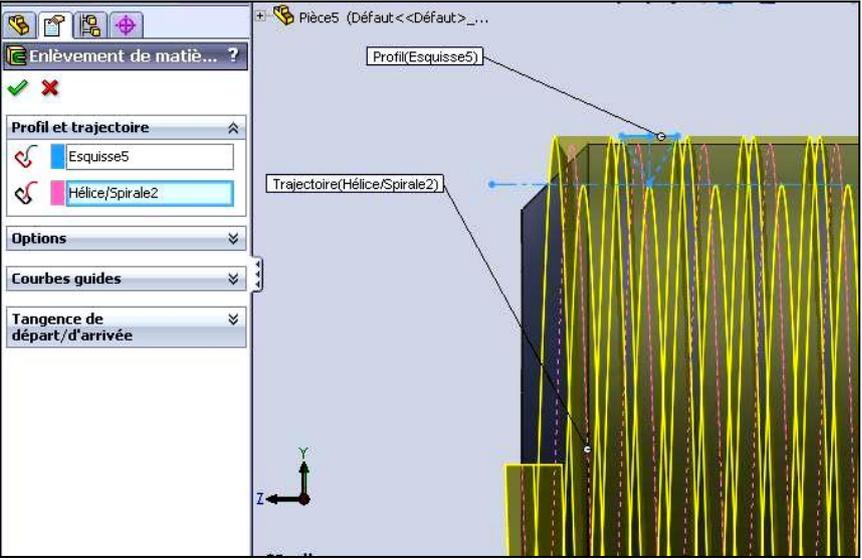
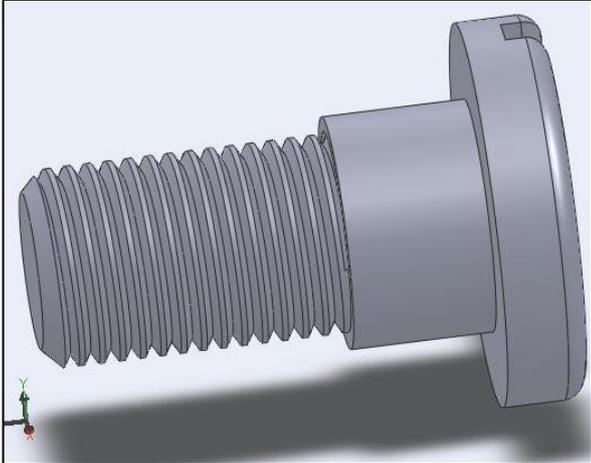
1	Démarrer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.	
2	Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner le cercle de diamètre 19mm.	

<p>3</p>	<p>Extruder</p>  <p>Base/Bossage extrudé</p> <p>l'esquisse à 4mm.</p>	
<p>4</p>	<p>Sélectionner la face et créer une nouvelle esquisse. Dessiner le cercle de diamètre 11.5mm.</p>	
<p>5</p>	<p>Extruder</p>  <p>Base/Bossage extrudé</p> <p>l'esquisse à 7 mm.</p>	

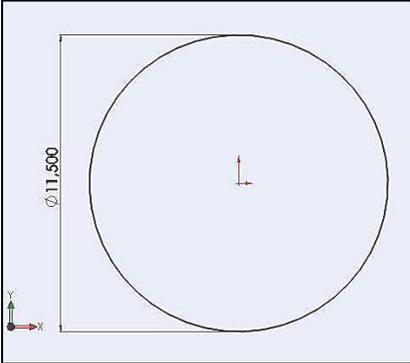
<p>6</p>	<p>Sélectionner la face, créer une nouvelle esquisse. Dessiner le cercle de diamètre 9.8mm.</p>	
<p>7</p>	<p>Extruder                    Base/Bossage extrudé                  l'esquisse à 15 mm.</p>	
<p>8</p>	<p>Sélectionner la face, créer une nouvelle esquisse. Dessiner le rectangle de largeur 2mm et longueur 20mm</p>	

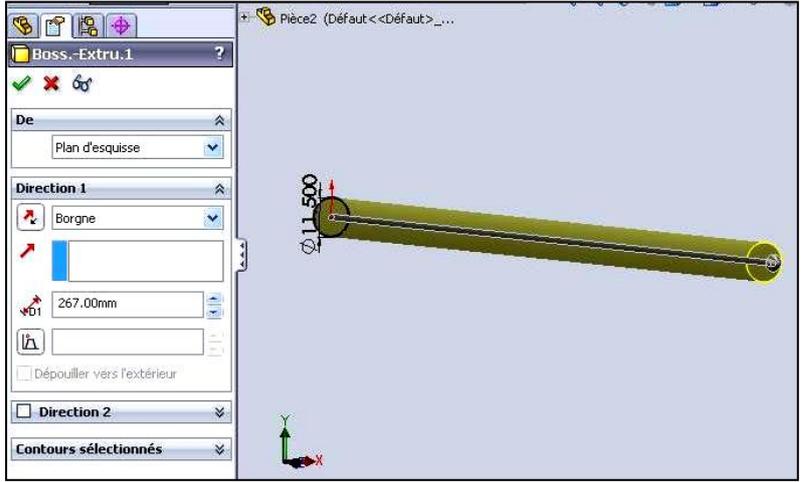
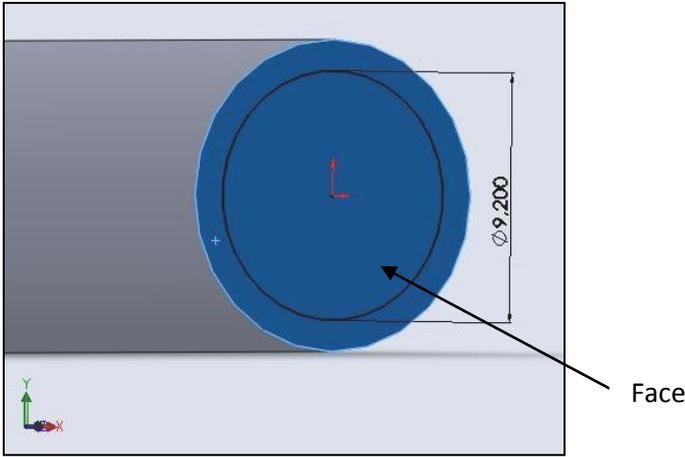
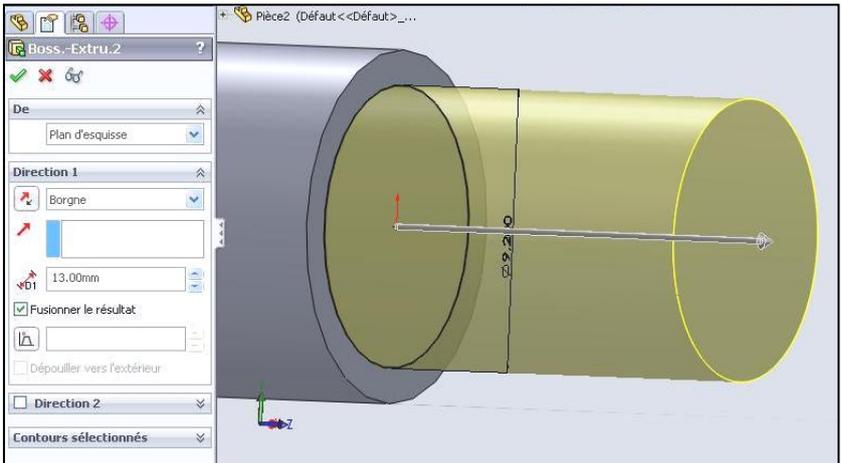
<p>9</p>	<p>Créer un Enlèvement de matière extrudé</p>  <p>à partir de l'esquisse, en définissant une profondeur de 2 mm.</p>	
<p>10</p>	<p>Créer un congé</p>  <p>Sélectionner les deux arêtes et choisir le rayon 1mm.</p>	
<p>11</p>	<p>Créer un chanfrein</p>  <p>et sélectionner la face, spécifier la distance 1mm et l'angle 45°</p>	

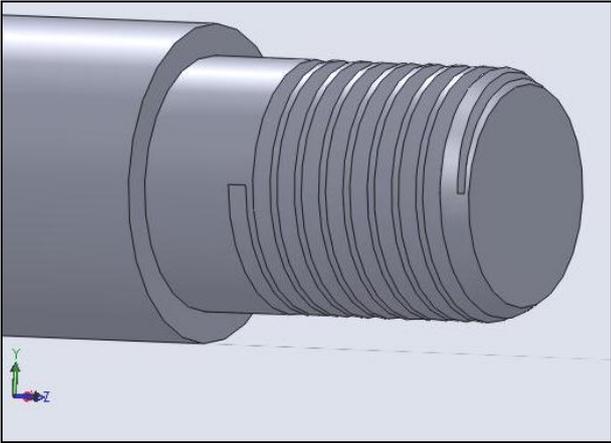
<p>12</p>	<p>Sélectionner le plan de droite, créer une esquisse, dessiner la ligne de construction et le rectangle donné ci-contre, en donnant la profondeur du filetage qui est calculée par l'équation suivante :  <math>=0.62 \times \text{pas de la spirale}</math></p>	
<p>13</p>	<p>Sélectionner la face, créer une nouvelle esquisse. Dessiner le cercle du diamètre 9,8mm</p>	
<p>14</p>	<p>Dans la barre de menu choisir «insertion», «Courbe», «Hélice/spirale» Dans le Property Manager, remplir les cases appropriées pour un filetage défini par hauteur et pas. Le pas de 1mm et hauteur 15mm et quitter l'esquisse.</p>	

<p>15</p>	<p>Choisir « Insertion », «Enlèvement de matière», «Balayage » Dans le profil choisir le triangle et dans la trajectoire choisir l'Hélice/spirale</p>	
<p>16</p>	<p>Le modèle est prêt.</p>	

2.3.3.3 Modélisation de la Pièce 3 (tige1)

<p>1</p>	<p>Démarrer solidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.</p>	
<p>2</p>	<p>Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et Dessiner le cercle de diamètre 11,5mm.</p>	

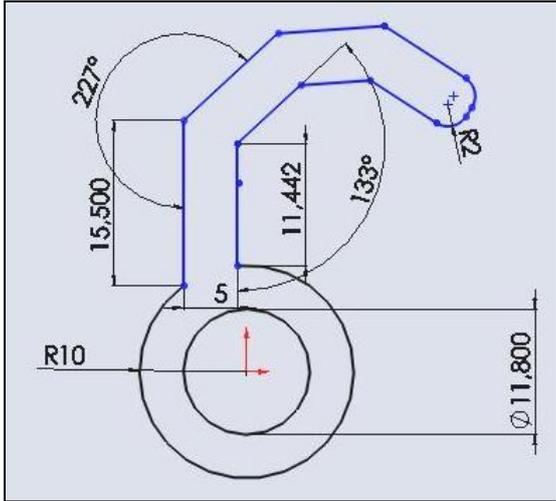
<p>3</p>	<p>Extruder</p>  <p>Base/Bossage extrudé</p> <p>l'esquisse à 267mm.</p>	
<p>4</p>	<p>Sélectionner la face, créer une nouvelle esquisse. Dessinez le cercle du diamètre 9,2mm</p>	
<p>5</p>	<p>Extruder</p>  <p>Base/Bossage extrudé</p> <p>l'esquisse à 13 mm.</p>	

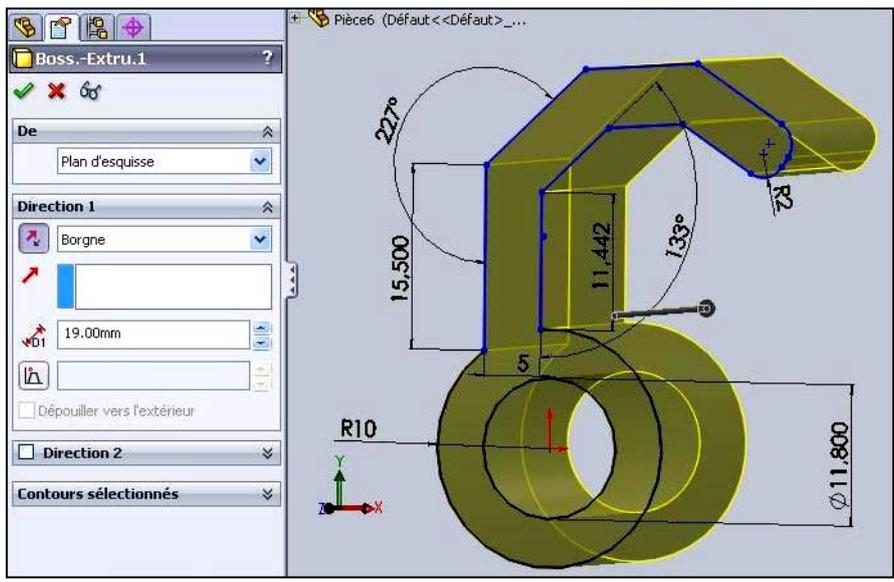
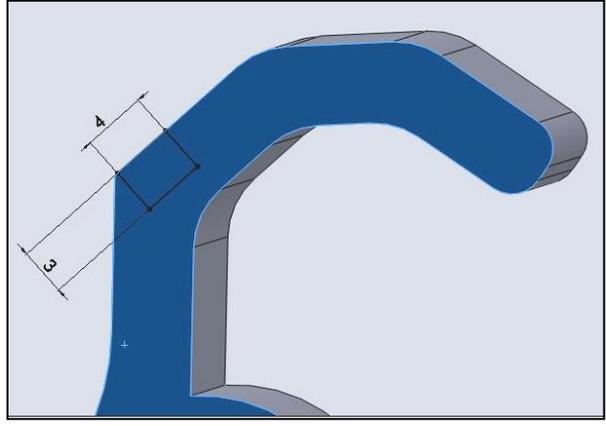
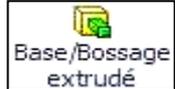
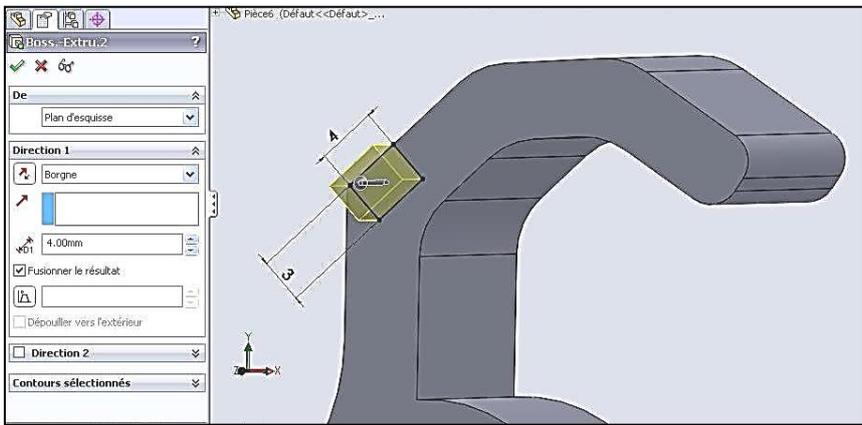
<p>6</p>	<p>Pour faire le filetage on suit les mêmes étapes de filetage de la vis précédente en changeant quelques paramètres tels que la hauteur ; et enfin le modèle est prêt.</p>	
----------	---	--

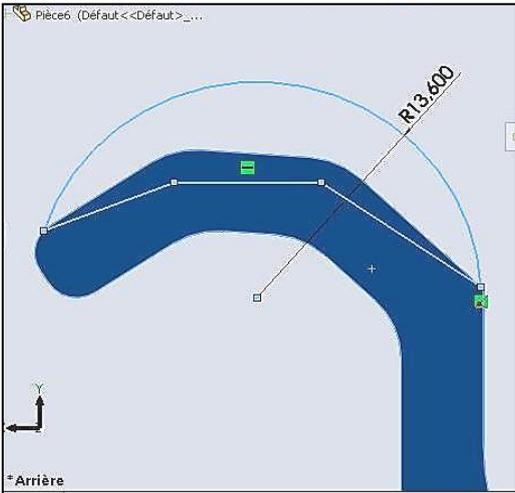
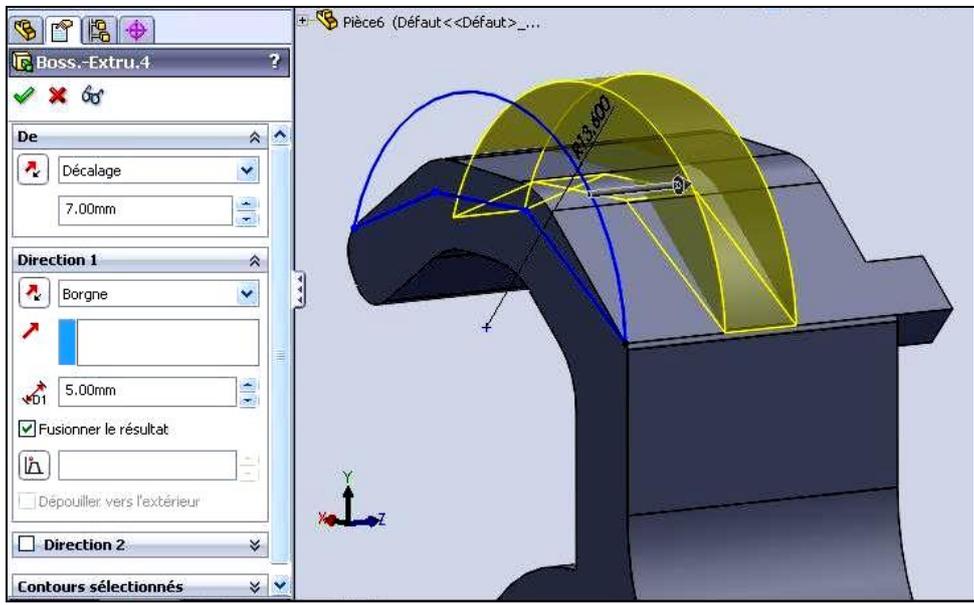
2.3.3.4 Modélisation de la Pièce 4 (Tige 2)

Etant donné que cette pièce est identique à la pièce précédente, on suit donc les mêmes étapes pour la conception en changeant seulement la longueur de l'extrusion qui est 320mm.

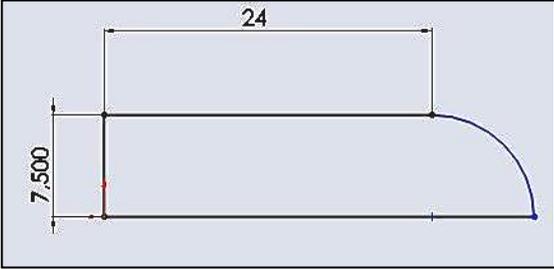
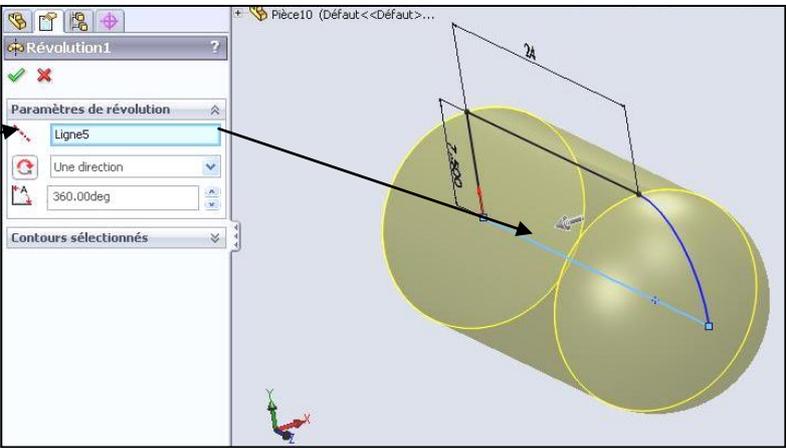
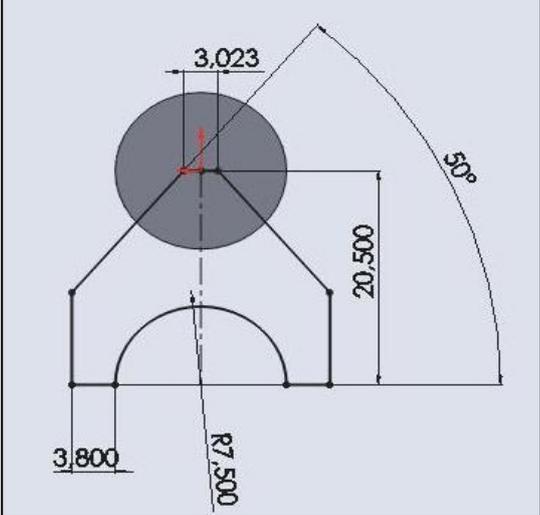
2.3.3.5 Modélisation de la Pièce 5 (crochet)

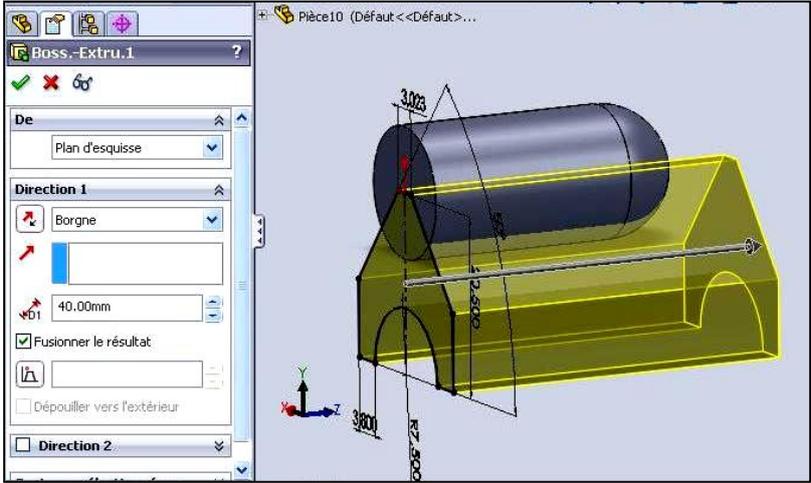
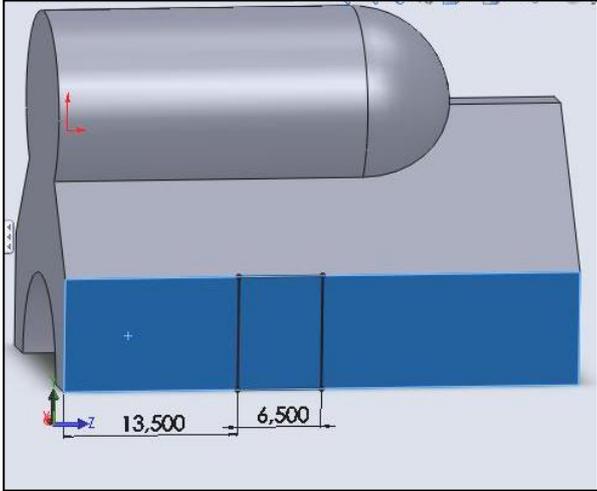
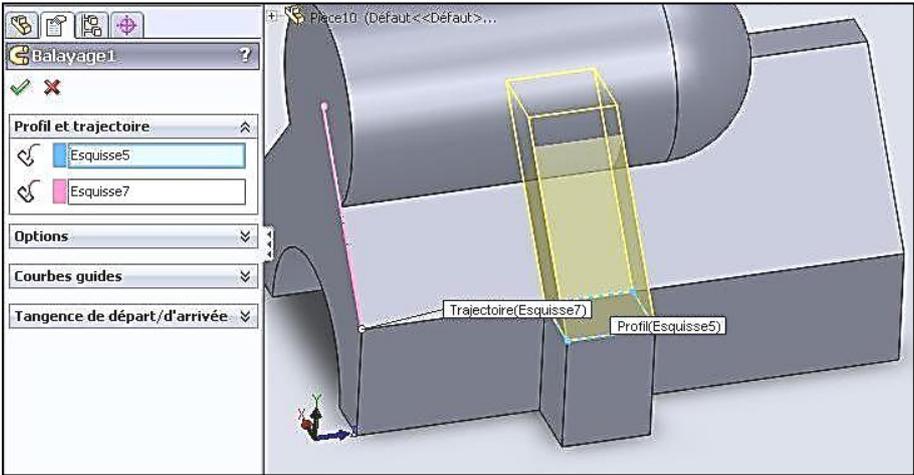
<p>1</p>	<p>Démarrer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.</p>	
<p>2</p>	<p>Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme donnée ci-contre.</p>	

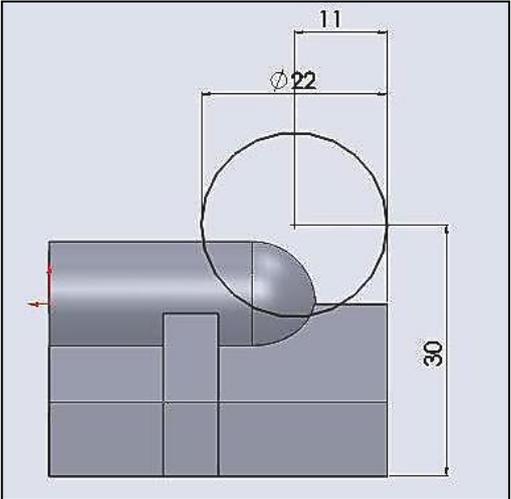
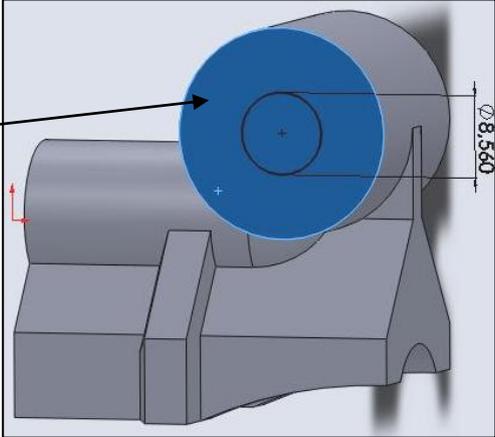
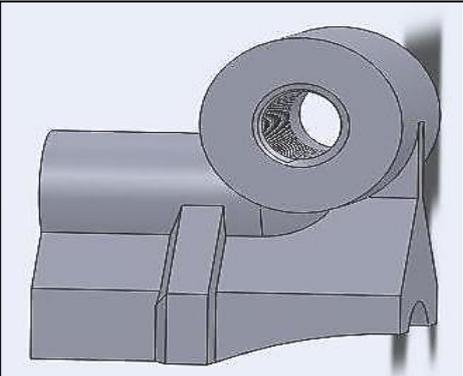
<p>3</p>	<p>Extruder                    Base/Bossage extrudé                  l'esquisse à 13mm.</p>	
<p>4</p>	<p>Sélectionner la face, créer une nouvelle esquisse. Dessiner le rectangle de longueur 4mm et largeur 3mm</p>	
<p>5</p>	<p>Extruder                    Base/Bossage extrudé                  l'esquisse à 4mm.</p>	

<p>6</p>	<p>Sélectionner la face, créer une nouvelle esquisse. Dessiner la forme dans l'image à droite.</p>	
<p>7</p>	<p>Extruder                    Base/Bossage extrudé                  l'esquisse à 5mm de décalage 7mm.</p>	
<p>8</p>	<p>Le modèle est prêt.</p>	

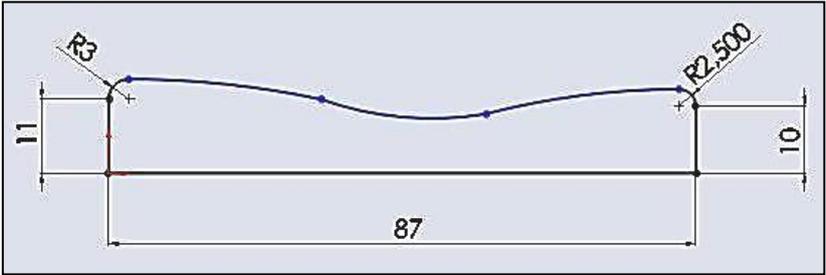
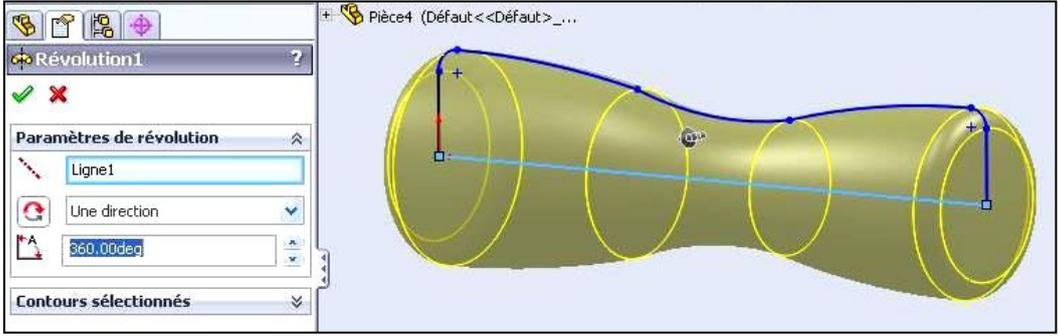
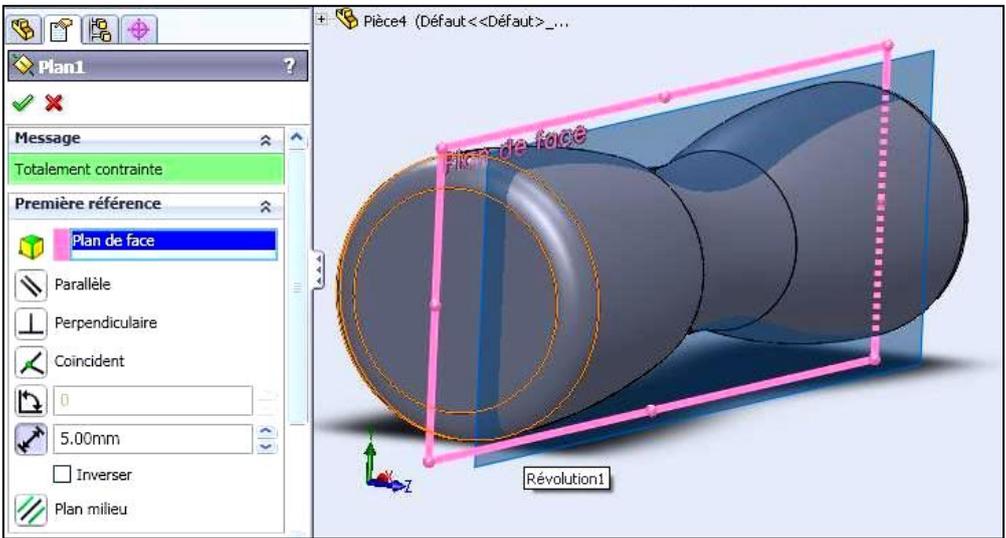
2.3.3.6 Modélisation de la Pièce 6 (Galet)

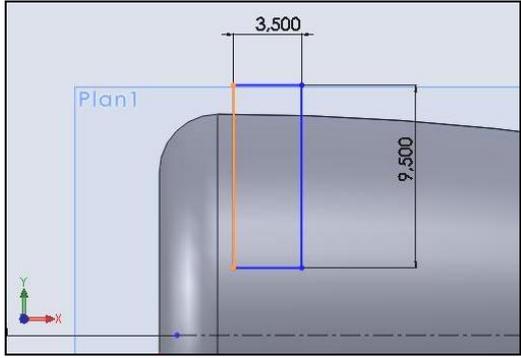
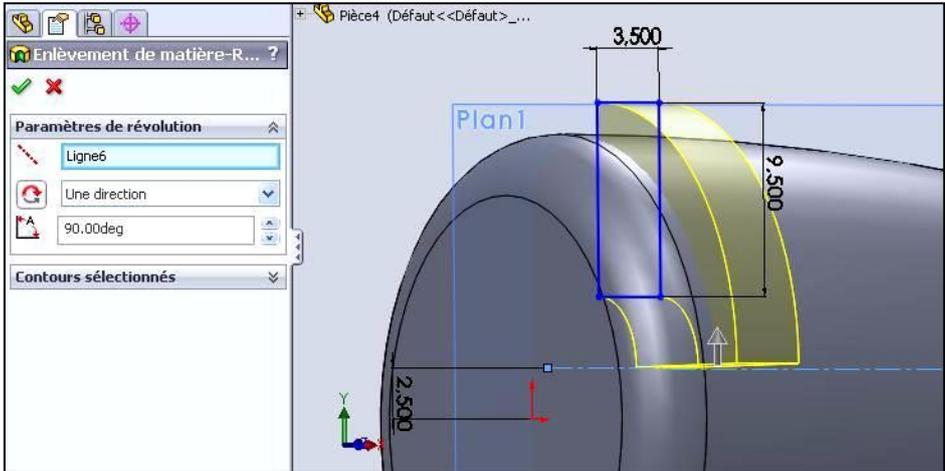
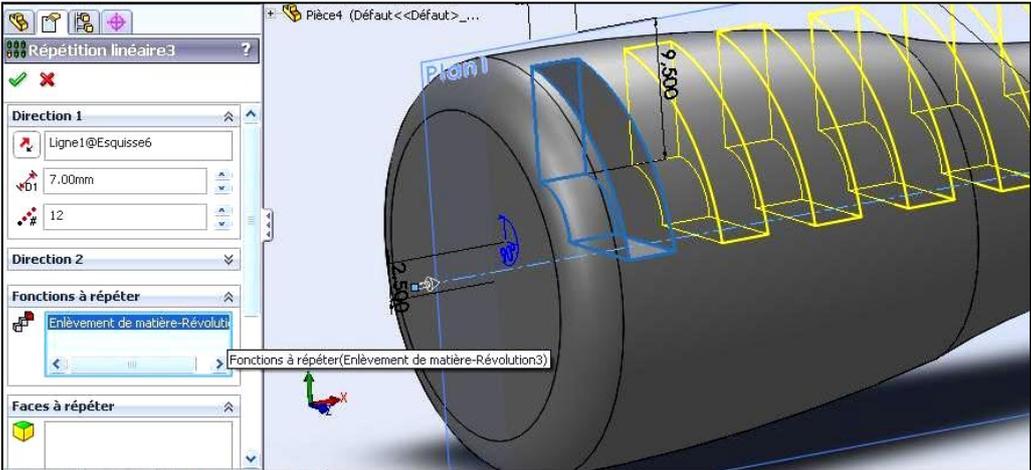
<p>1</p>	<p>Démarrer solidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.</p>	
<p>2</p>	<p>Sélectionner le plan de droite, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre.</p>	
<p>3</p>	<p>Créer un bossage/base avec révolution</p>  <p>à partir de l'esquisse.</p>	<p>Axe de revolution</p> 
<p>4</p>	<p>Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme en face.</p>	

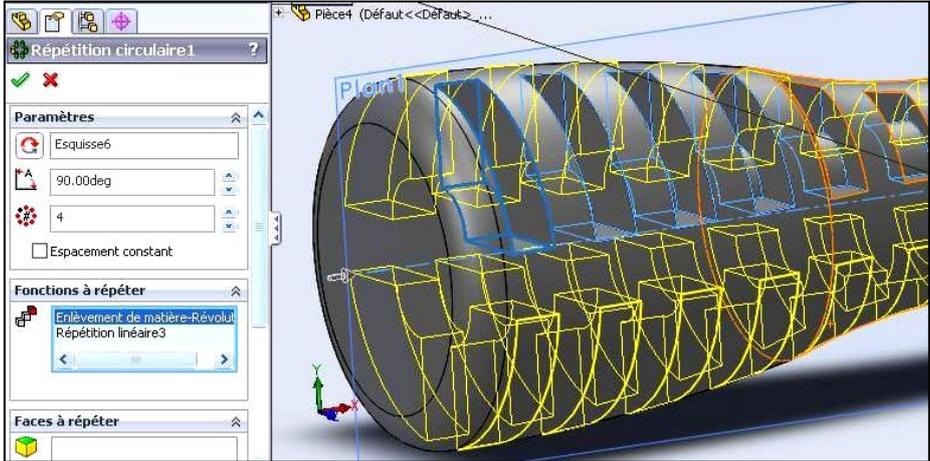
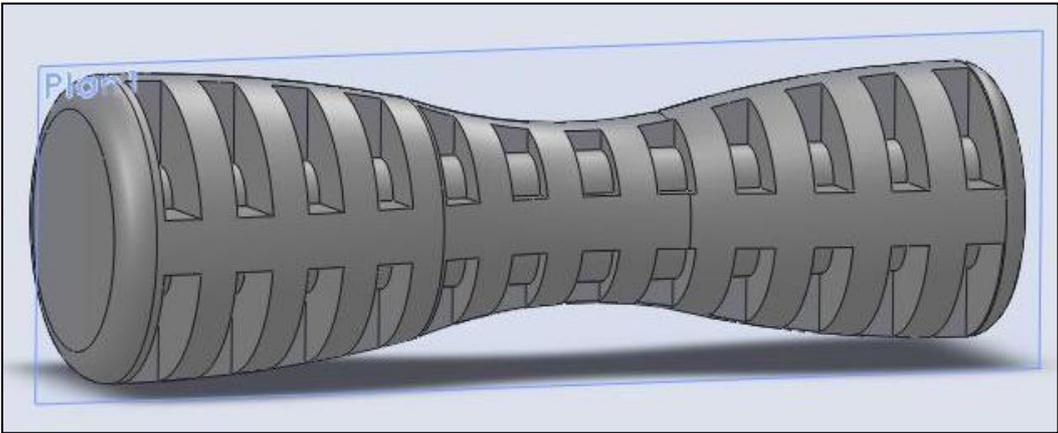
<p>5</p>	<p>Extruder</p>  <p>Base/Bossage extrudé</p> <p>l'esquisse à 40mm.</p>	
<p>6</p>	<p>Sélectionner la face, créer une nouvelle esquisse. Dessiner le rectangle. Extruder</p>  <p>Base/Bossage extrudé</p> <p>l'esquisse à 5mm</p>	
<p>8</p>	<p>Sélectionner la face de dessus et créer une nouvelle esquisse. Dessiner le rectangle et quitter l'esquisse, créer un bossage/base balayé et choisir le rectangle comme profil et la ligne comme trajectoire.</p>	

<p>9</p>	<p>Sélectionner le plan de droite, créer une esquisse et dessiner le cercle de diamètre 22mm et extruder l'esquisse de 23.5mm en spécifiant la direction au plan milieu</p> 	
<p>10</p>	<p>Sélectionner la face et créer une esquisse et dessiner le cercle de diamètre 8.560mm et faire un enlèvement de matière extrudée à travers tout. Le filetage intérieur suit le même principe que le filetage extérieur en changeant seulement la direction du triangle.</p>	
<p>11</p>	<p>Le modèle est prêt.</p>	

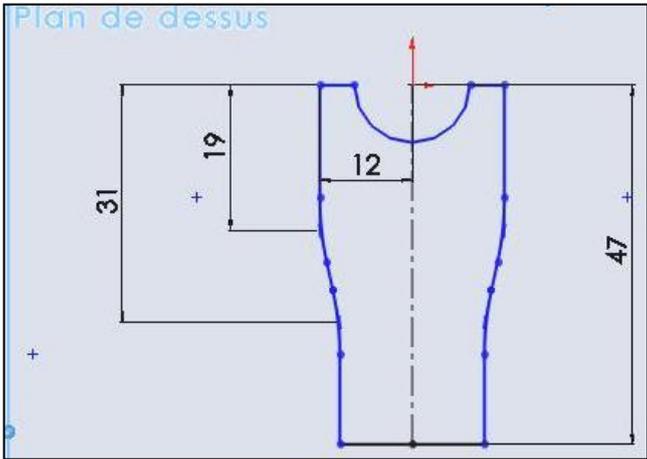
2.3.3.7 Modélisation de la Pièce 7 (manette)

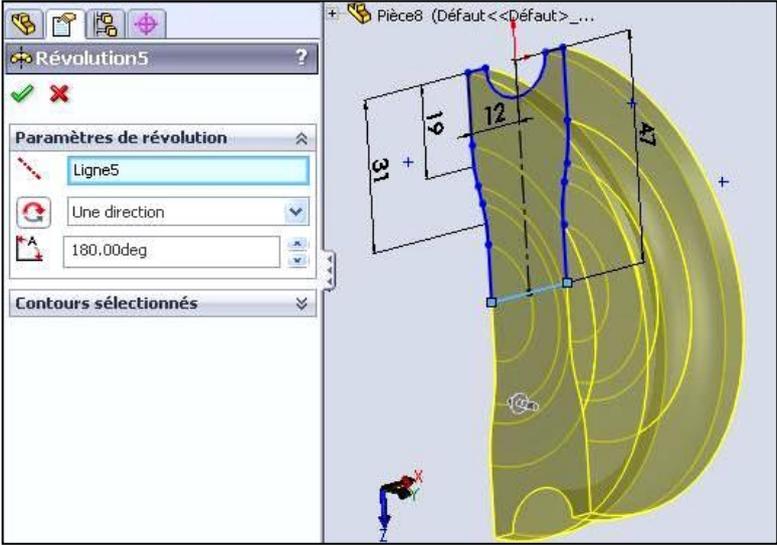
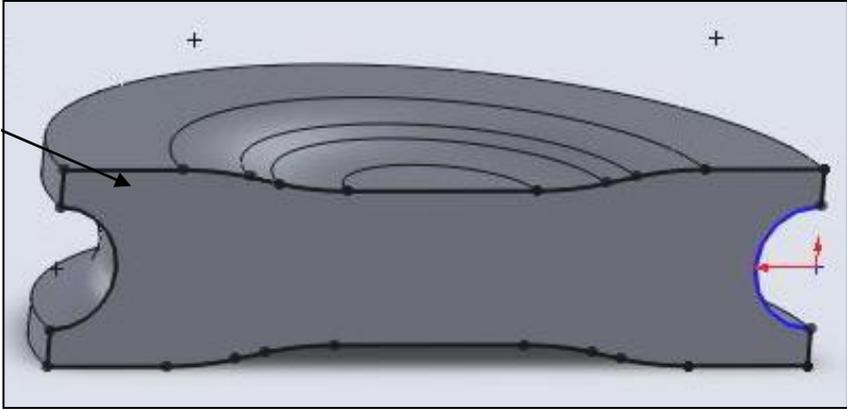
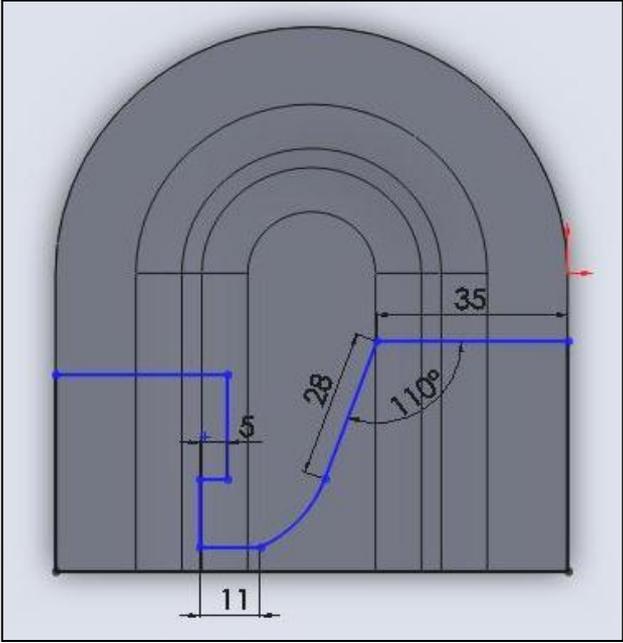
<p>1</p>	<p>Démarrer SolidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.</p>	
<p>2</p>	<p>Sélectionner le plan de face, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre</p>	
<p>3</p>	<p>Créer un bossage/base avec révolution    à partir de l'esquisse</p>	
<p>4</p>	<p>Choisir plan de face, «Insertion», «Géométrie de référence», «Plan» dans le Property Manager choisir la distance de décalage 2.5mm</p>	

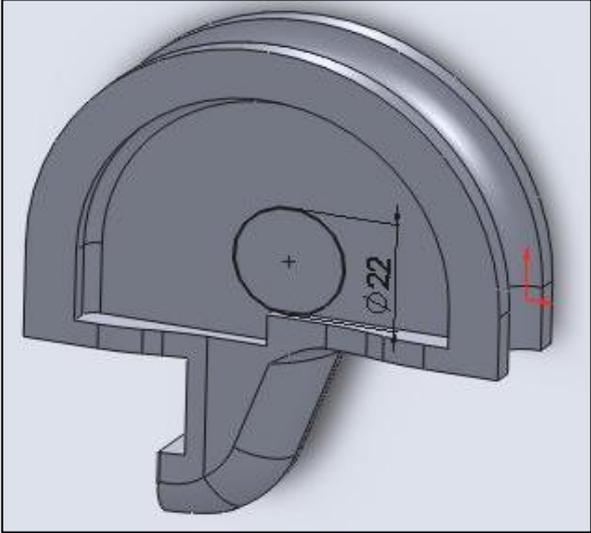
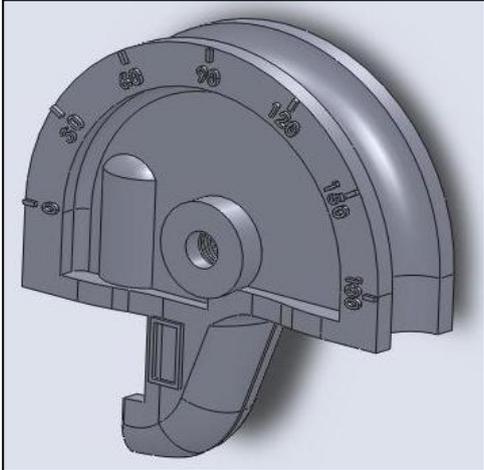
<p>5</p>	<p>Dessiner le rectangle dans plans 1 qu'on a créé.</p>	
<p>6</p>	<p>Choisir «Enlèvement de matière avec révolution» et donner l'angle 90°, puis quitter l'esquisse.</p>	
<p>7</p>	<p>- Choisir «fonction», «répétition linéaire» - Dans le Property Manager choisir la direction de répétition et l'espacement de 7mm ainsi que le nombre d'occurrences 12 et enfin la fonction à répéter.</p>	

<p>8</p>	<p>- Choisir «fonction», «répétition circulaire». - Dans le Property Manager choisir axe de répétition et angle 90deg et nombre d'occurrences 4 et fonction à répéter.</p>	
<p>9</p>	<p>Le modèle est prêt.</p>	

2.3.3.8 Modélisation de la Pièce 8 (Sabot cintreur)

<p>1</p>	<p>Démarrer solidWorks et ouvrir une nouvelle pièce.</p>	
<p>2</p>	<p>Sélectionner le plan de dessus, créer une esquisse et dessiner la forme ci-contre.</p>	

<p>3</p>	<p>- Créer un bossage/base avec révolution</p>  <p>à partir de l'esquisse.</p> <p>- Dans le Property Manager choisir angle de révolution 180°</p>	
<p>4</p>	<p>Sélectionner la face, créer une esquisse et redessiner la face, extruder l'esquisse avec profondeur 57mm.</p>	
<p>5</p>	<p>- Sélectionner le plan de droite, créer une esquisse et dessiner la forme en face.</p> <p>- Créer un Enlèvement de matière extrudé à partir de l'esquisse, en définissant à travers tout en deux directions</p>	

6	<p>- Sélectionner le plan de droite, créer une esquisse et dessiner le cercle de diamètre 22mm et extruder l'esquisse, choisir condition de fin : (jusqu'à la surface) et choisir la surface de l'extrusion à deux direction.</p>	
7	<p>On fait plusieurs fonctions exemple (des congés et des chanfreins, texte extrudé des filetages intérieurs) en fin le modèle est prêt.</p>	

## 2.4 Conclusion

La modélisation de chaque pièce de la cintreuse a été donnée en détail dans ce chapitre, après avoir parlé des divers moyens de métrologie qui nous ont permis de mesurer ces pièces. Par la même occasion on a défini la modélisation, ses avantages et inconvénients ; ainsi que l'outil de CAO avec lequel on a travaillé qui est SolidWorks2010, en donnant ses caractéristiques et son fonctionnement.

Fig. 2.1 Le pied à coulisse .....	- 14 -
Fig. 2.2 Micromètre palmer.....	- 14 -
Fig. 2.3 Équerre rapporteur d'angle .....	- 15 -
Fig. 2.4 LES TROIS CONCEPTS DE BASE (SolidWorks) .....	- 16 -
Fig. 2.5 Assemblage des pièces .....	- 17 -
Fig. 2.6 Mise en plan d'une pièce.....	- 18 -
Fig. 2.7 Différente pièce de notre cintreuse.....	- 18 -
2.3.3.1 Modélisation de la Pièce1 .....	- 19 -
2.3.3.2 Modélisation de la Pièce2 (Vis) .....	- 19 -
2.3.3.3 Modélisation de la Pièce 3 (tige1).....	- 24 -
2.3.3.4 Modélisation de la Pièce 4 (Tige 2) .....	- 26 -
2.3.3.5 Modélisation de la Pièce 5 (crochet).....	- 26 -
2.3.3.6 Modélisation de la Pièce 6 (Galet).....	- 29 -
2.3.3.7 Modélisation de la Pièce 7 (manette) .....	- 32 -
2.3.3.8 Modélisation de la Pièce 8 (Sabot cintreur) .....	- 34 -

### 3.1 Introduction

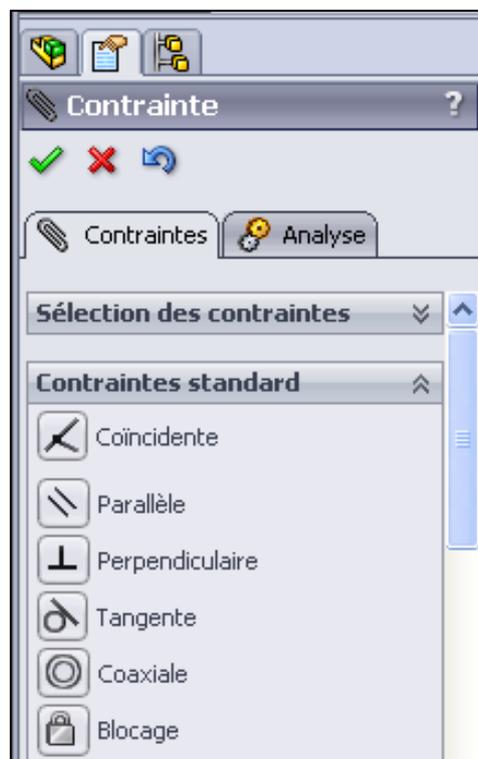
Dans ce chapitre on utilise le deuxième et le troisième fichier relatif dans SolidWorks (assemblage et Mise en plan) pour regrouper toutes les pièces de la cintreuse.

### 3.2 Assemblage

Pour cela on a suivi deux méthodes :

#### 3.2.1 Assemblage avec contraintes

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



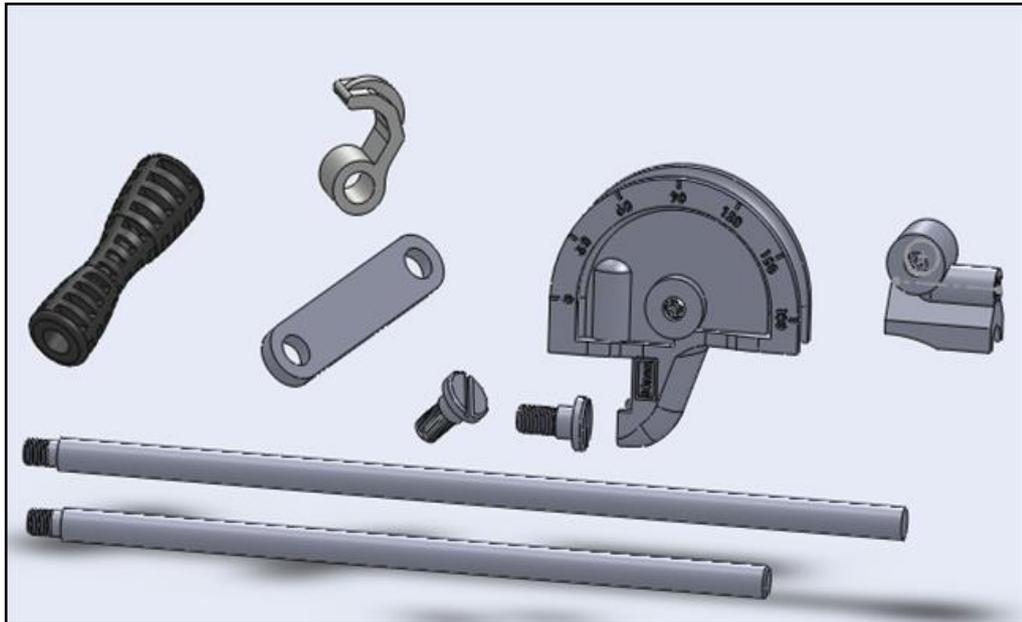
**Fig. 3.1 Contraintes les plus utilisé**

Les étapes d'assemblage

On ouvre l'outil SolidWorks → nouveau → assemblage

Pour faire l'assemblage de la cintreuse il faut respecter les étapes suivantes :

- ❖ On importe toutes les composantes de la cintreuse dans une seule zone graphique d'assemblage comme montre la figure 3.2 suivante.

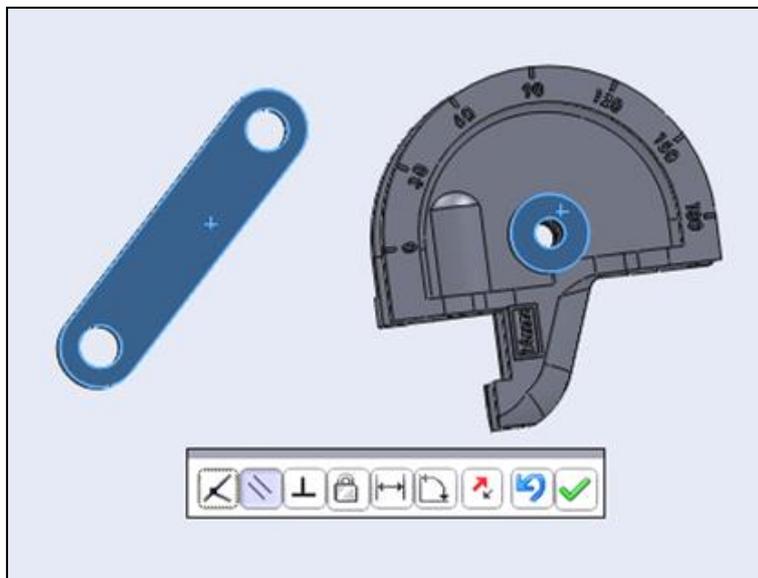


**Fig. 3.2 Toutes les composantes de la cintrreuse dans une seule zone graphique**

- ❖ On clique sur la fonction contrainte

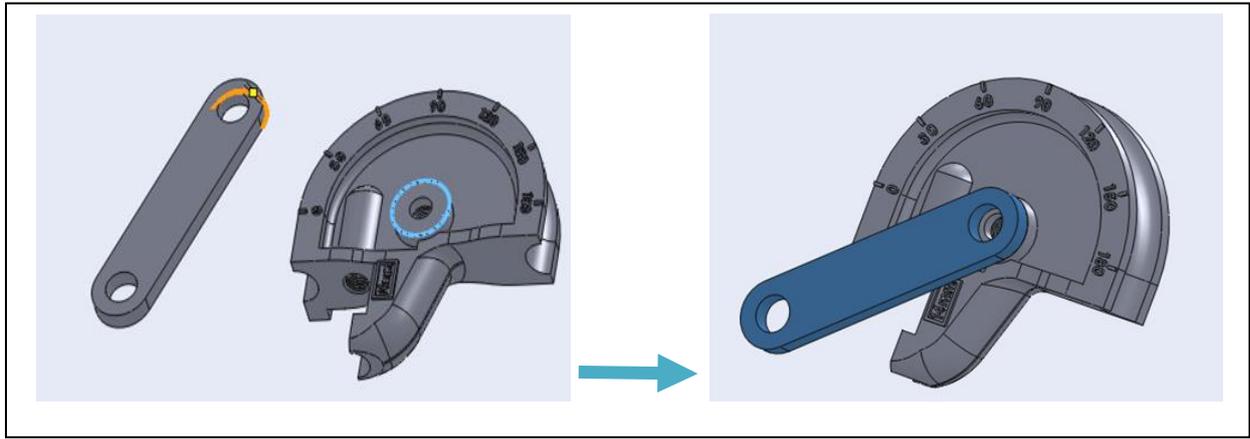


- ❖ On fait le premier assemblage de la pièce 8 et la pièce 1 utilisant la première contrainte « parallèle » permettant le parallélisme entre les deux pièces ;



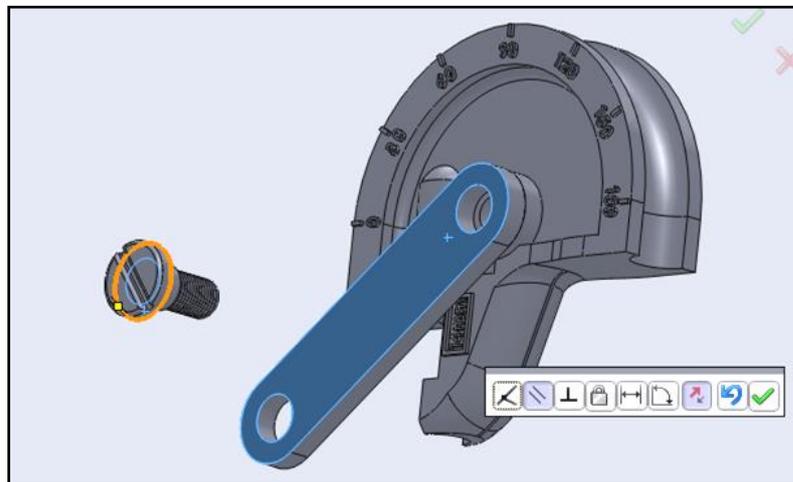
**Fig. 3.3 Contrainte parallèle entre la pièce 8 et la pièce 1**

Et la deuxième contrainte «coaxiale» entre les mêmes pièces, pour quelles soient sur le même axe.



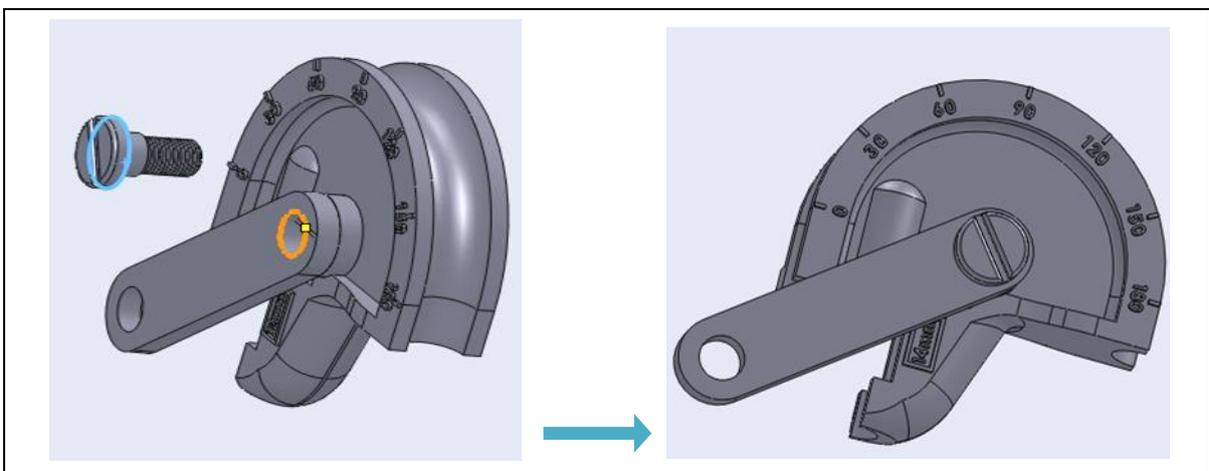
**Fig. 3.4 Contrainte coaxiale entre la pièce 8 et la pièce 1**

- ❖ On passe au deuxième assemblage qui regroupe l'ensemble précédent avec la pièce 2 commençant par la première contrainte « parallèle » ;



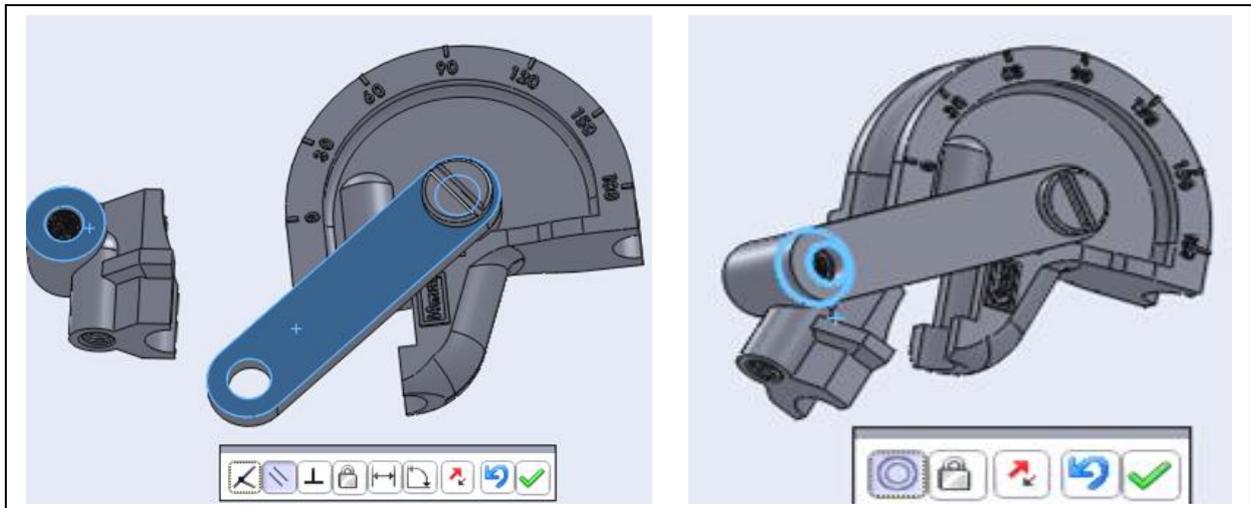
**Fig. 3.3 Contrainte parallèle entre l'ensemble précédent et la pièce 2**

Et finissant par la contrainte «coaxiale».



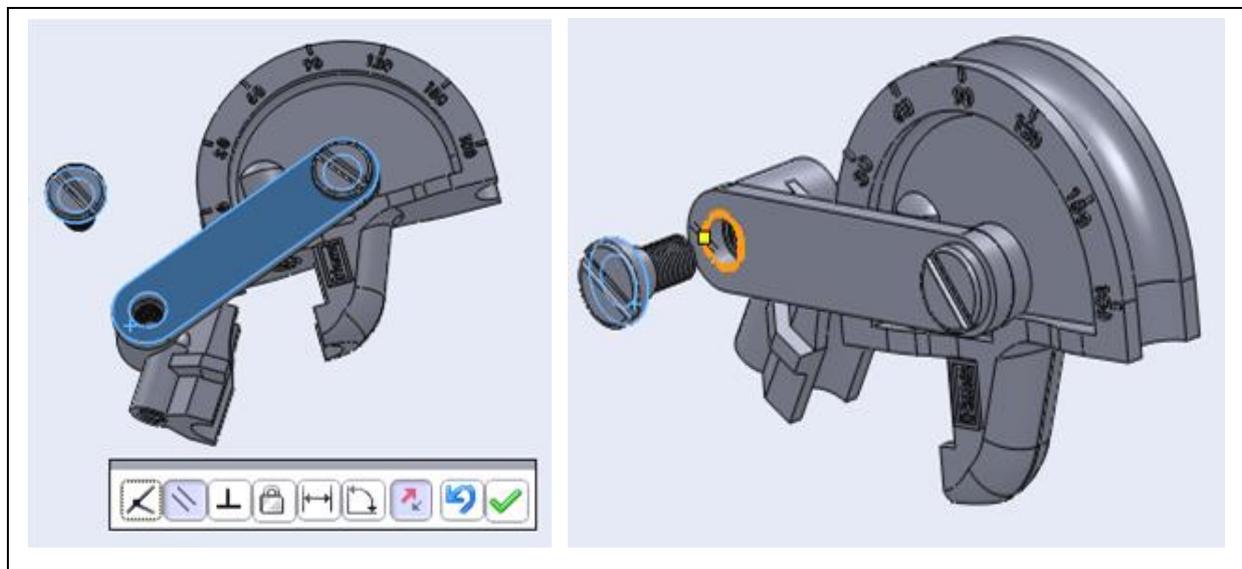
**Fig. 3.4 Contrainte coaxiale entre l'ensemble précédent et la pièce 2**

- ❖ Le troisième assemblage se fait par la réunion de l'ensemble précédent avec la pièce 6, par les contraintes « parallèle » et « coaxiale ».



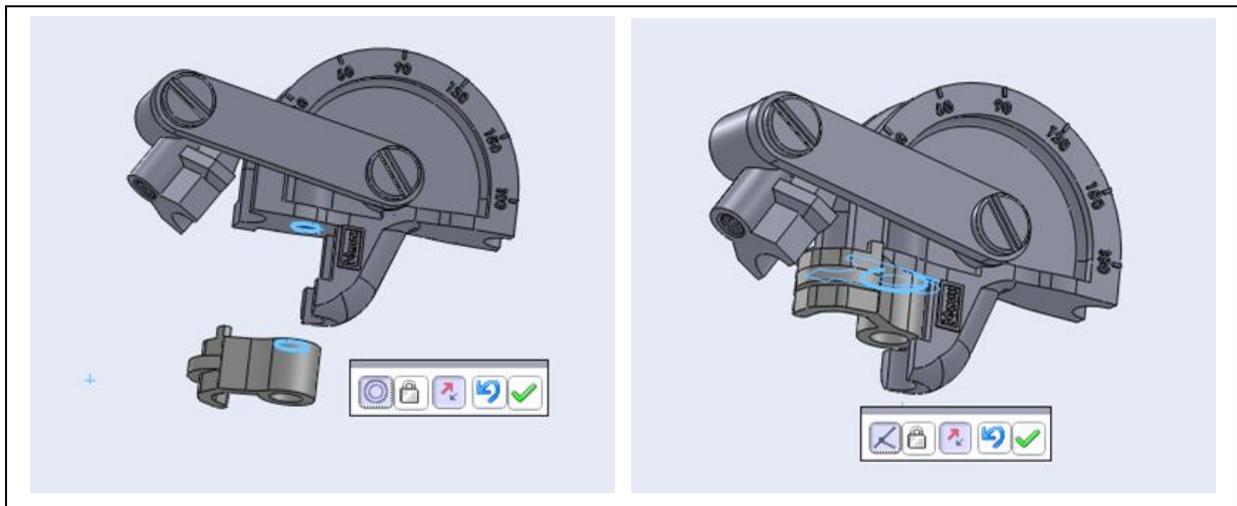
**Fig. 3.5 Contraintes parallèle et coaxiale entre l'ensemble précédent et la pièce 6**

- ❖ Le quatrième assemblage se fait par la réunion de l'ensemble précédent avec la pièce 2, par les contraintes « parallèle » et « coaxiale ».



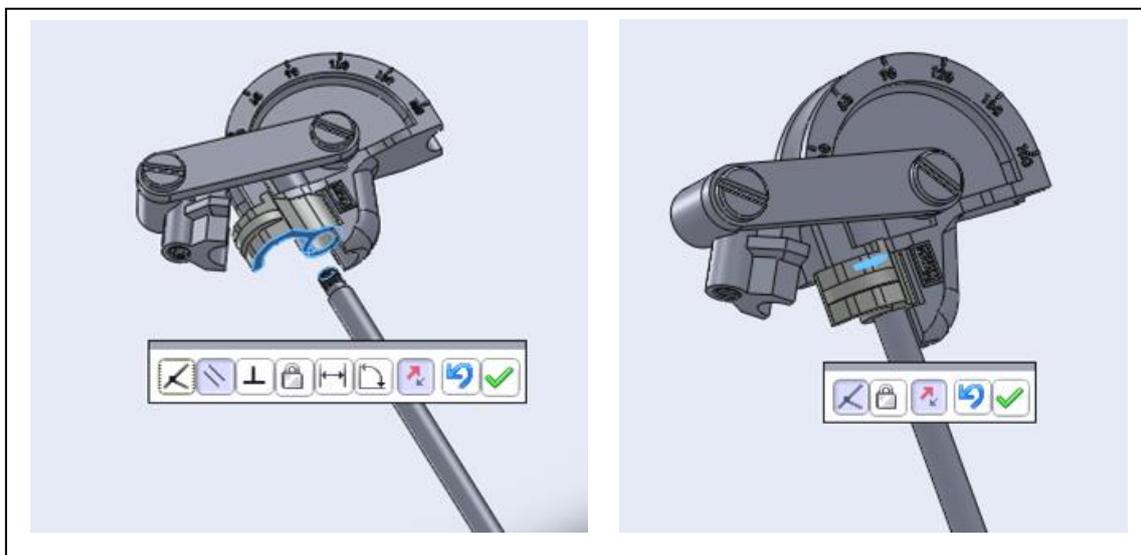
**Fig. 3.6 Contraintes parallèle et coaxiale entre l'ensemble précédent et la pièce 2**

- ❖ Le cinquième assemblage se fait par la réunion de l'ensemble précédent avec la pièce 5, par les contraintes « coaxiale » et « coïncidente ».



**Fig. 3.7 Contraintes coaxiale et coïncidente de la pièce 5 de l'ensemble précédent**

- ❖ Le sixième assemblage se fait par la réunion de l'ensemble précédent avec la pièce 3, par les contraintes « parallèle » et « coïncidente ».



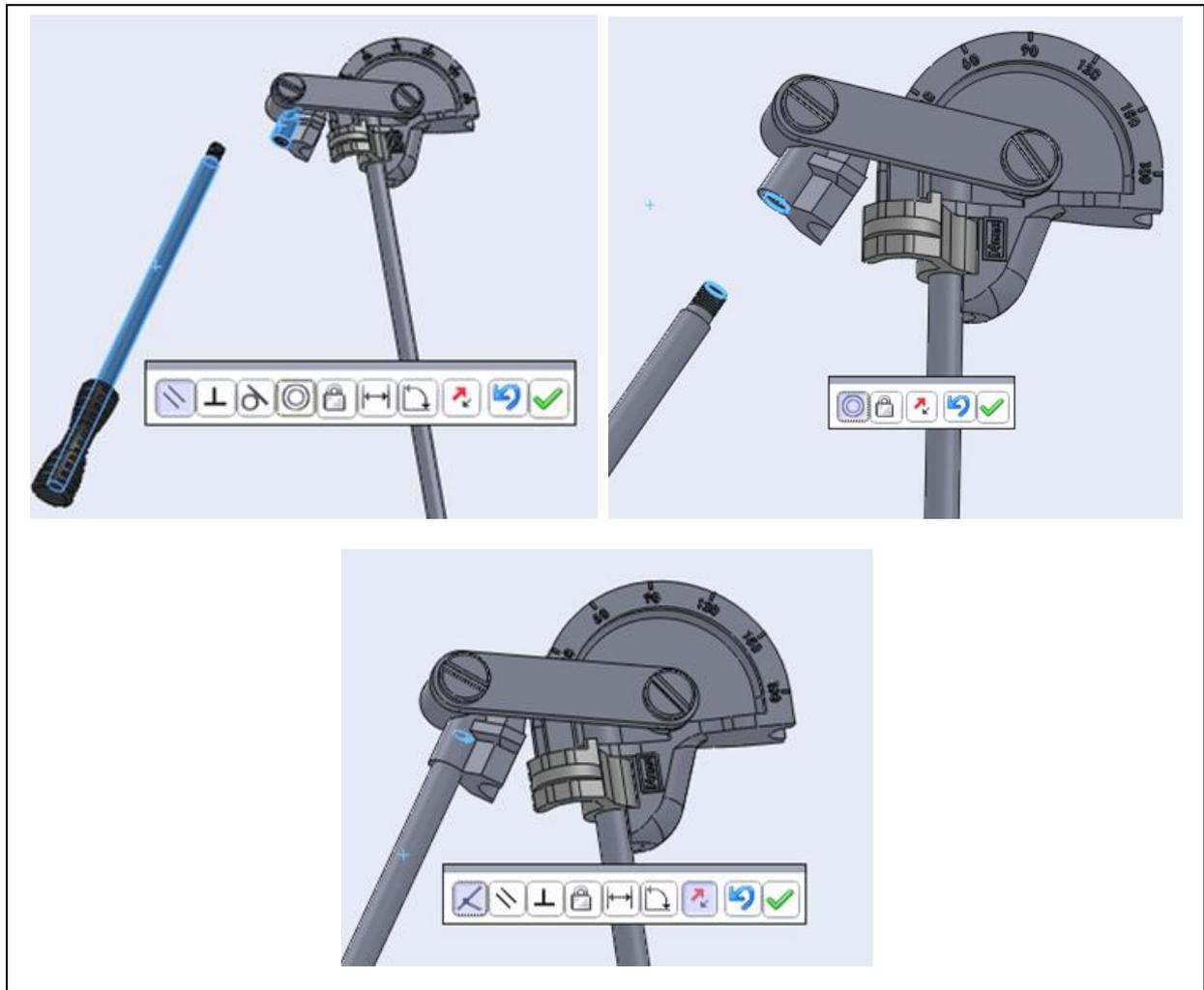
**Fig. 3.7 Contraintes parallèle et coïncidente de la pièce 3 et de l'ensemble précédent**

- ❖ Le septième assemblage se fait par la réunion de la pièce 8 avec la pièce 4, par les contraintes « parallèle », « coaxiale » et « coïncidente ».



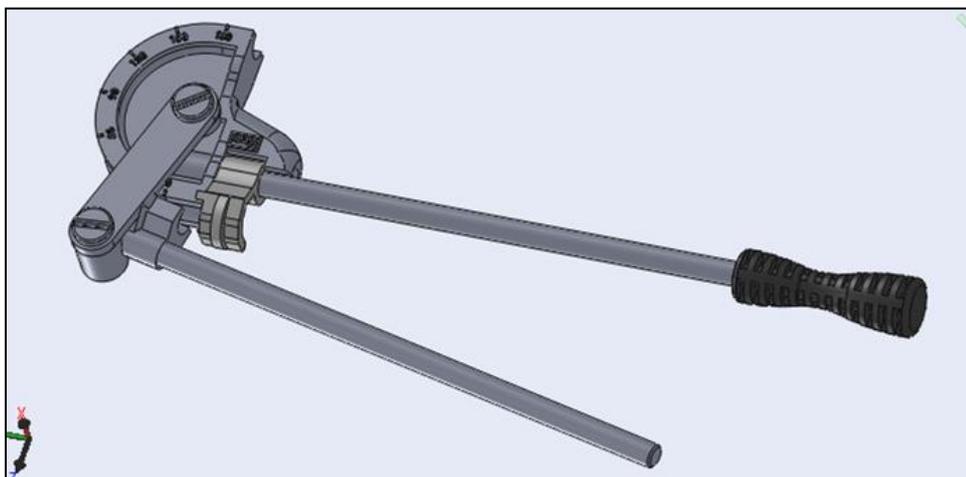
**Fig. 3.8 Contraintes parallèle, coaxiale et coïncidente entre la pièce8 et la pièce4**

- ❖ Le huitième assemblage se fait par la réunion de l'ensemble précédent avec les pièces 8 et 4, par les contraintes « parallèle », « coaxiale » et « coïncidente ».



**Fig. 3.9 Contraintes parallèle, coaxiale et coïncidente de la pièce 8 et la pièce 4 dans l'ensemble précédent**

Enfin l'assemblage des différentes pièces de notre cintreuse présenté sur la figure 3.10 suivante.



**Fig. 3.10 L'assemblage final de la cintreuse**

### 3.2.2 Assemblage avec le complément SolidWorks motion

Pour animer un objet géométrique 3D, on définit tout d'abord les différentes images, c'est-à-dire les différentes positions de cet objet puis, on crée l'animation sous la forme d'une liste d'images ou d'objets.

Dans cette étape on utilise le complément SolidWorks motion pour animer l'assemblage des différentes pièces de la cintreuse.

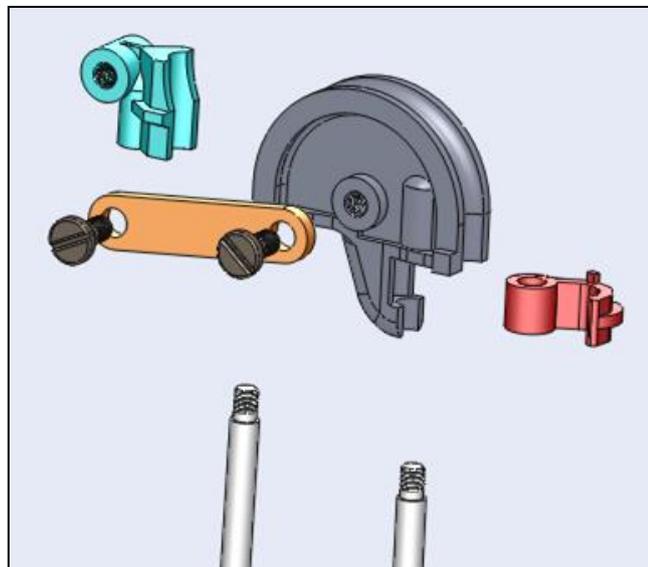
SolidWorks Motion simule les opérations mécaniques des assemblages motorisés et les forces physiques générées par ces derniers. Il permet de connaître des facteurs tels que la consommation d'énergie et les interférences entre les pièces en mouvement.

Les étapes d'assemblage

On ouvre l'outil SolidWorks → nouveau → assemblage

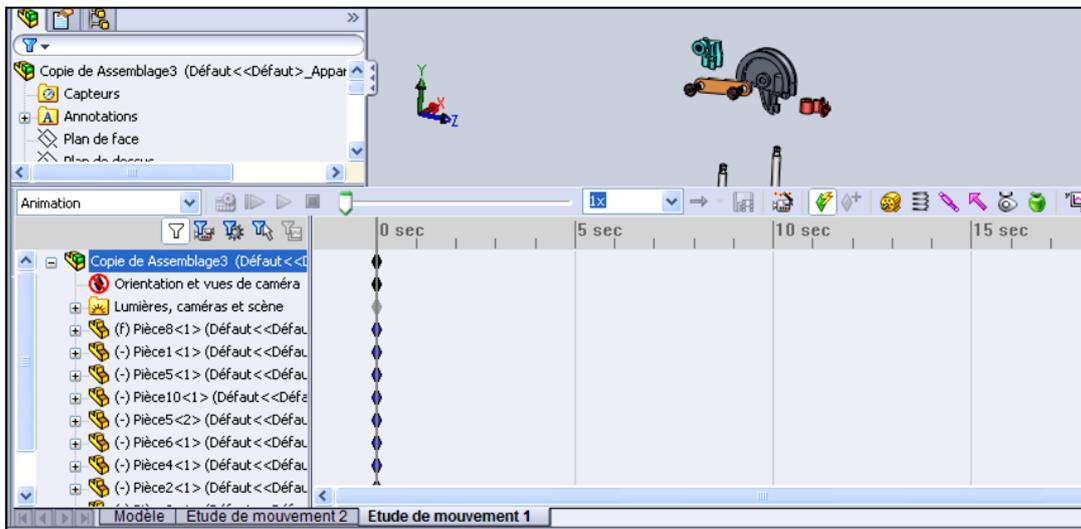
Pour faire l'animation de l'assemblage de cintreuse il faut respecter les étapes suivantes :

- ❖ On importe tous les composants de la cintreuse dans une seule zone graphique d'assemblage et on change la couleur de chaque composant comme montre la figure 3.11 suivante.



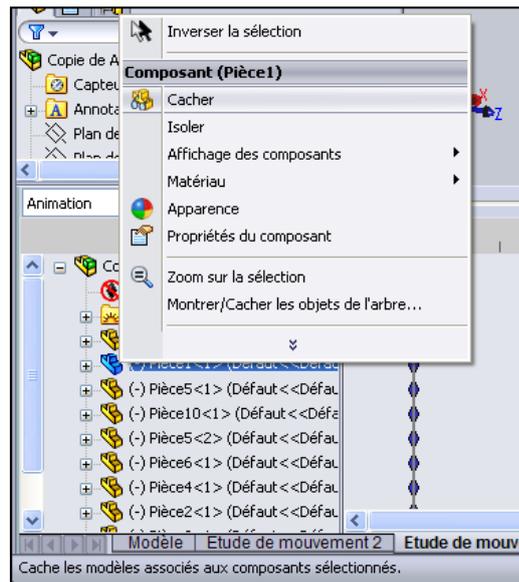
**Fig. 3.11 Importation des composants de la cintreuse**

- ❖ Après l'importation des différents composants de cintreuse on passe directement à SolidWorks motion.  
On clique sur étude mouvement dans la Barre ci dessous



**Fig. 3.11 Passage directement à SolidWorks motion.**

- ❖ On laisse la pièce 8 (sabot cintreur) et on cache les pièces qui restent comme montre la figure 3.12 suivante.



**Fig. 3.12 Les pièces cachées**

- ❖ Dans le MotionManager, on fait glisser la clé et on la règle sur 2 secondes comme montré sur la figure 3.13 suivante :



**Fig. 3.13 Glissement de clé**

- ❖ On montre la pièce 1, on remarque une ligne de couleur violet

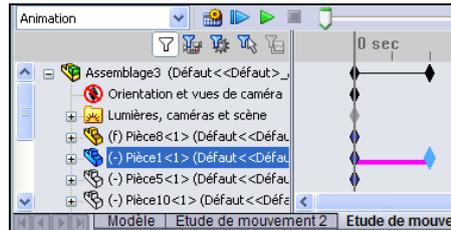


Fig. 3.14 La pièce 1 montrée

- ❖ Toujours dans le MotionManager, on place une clé et on la règle sur 5 secondes et on déplace la pièce 1 jusqu'à l'assembler avec la pièce 8, on remarque une ligne de couleur vert, et on clique sur  calculer pour faire l'animation du sous-assemblage :

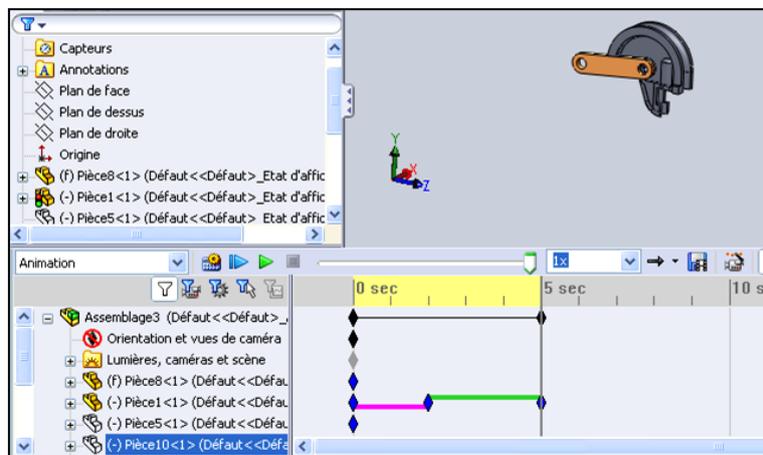


Fig. 3.15 Déplacement de la pièce 1

Ensuite on va faire les mêmes étapes pour les pièces qui restent, après on fait l'animation de l'assemblage complet.

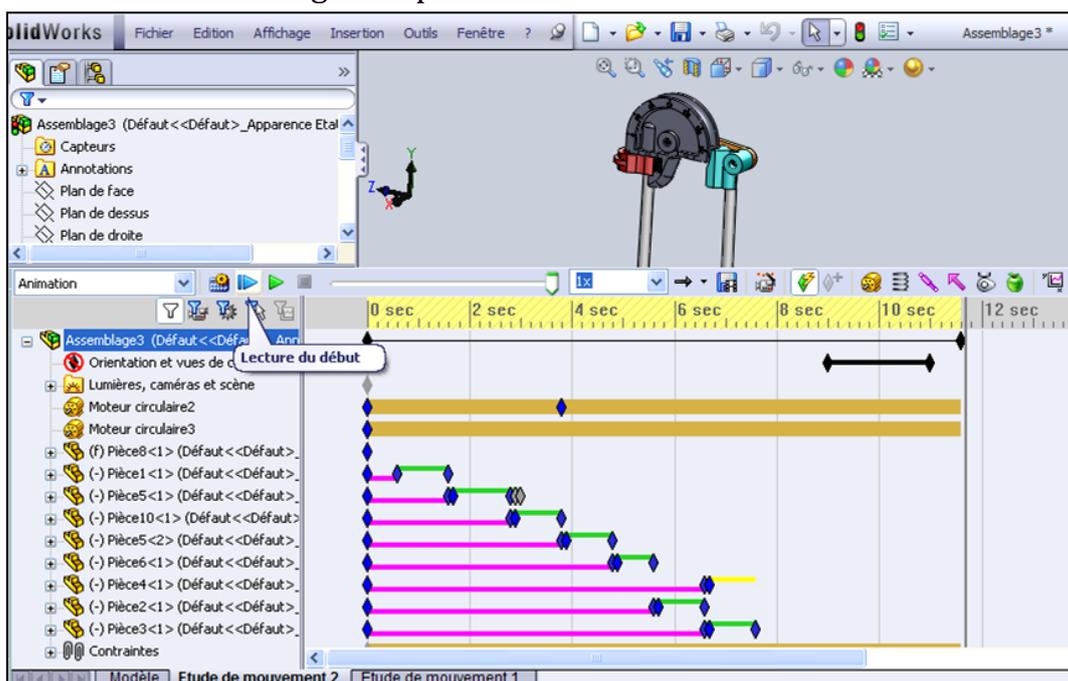


Fig. 3.16 Animation de l'assemblage complet

### **3.3 Mise en plan**

Après l'assemblage des pièces on fait la mise en plan de l'ensemble de notre cintreuse (dessin d'ensemble) et la mise en plan de chaque pièce (dessin de définition), Voir les pages suivantes.

**Fig. 3.17 Dessin d'ensemble de notre cintreuse**

**Fig. 3.18 Dessin de définition de la pièce 1**

**Fig. 3.19 Dessin de définition de la pièce 2 (Vis)**

**Fig. 3.20 Dessin de définition de la pièce 3 (Tige1)**

**Fig. 3.21 Dessin de définition de la pièce 4 (Tige 2)**

**Fig. 3.22 Dessin de définition de la pièce 5 (Crochet)**

**Fig. 3.23 Dessin de définition de la pièce 6 (Galet)**

**Fig. 3.24 Dessin de définition de la pièce 7 (Manette)**

**Fig. 3.25 Dessin de définition de la pièce 8 (Sabot cintreur)**



















### **3.4 Conclusion**

Dans ce chapitre on a présenté tous ce qui concerne l'assemblage des pièces qui composent notre cintreuse étudiée utilisant deux méthodes, par contraintes et avec le complément SolidWorks motion pour présenter et visualiser l'ensemble de notre cintreuse avec des explications détaillées, ainsi que les mises en plan de l'ensemble et de chaque pièce montrant les différentes vues des dessins.

<b>3.1</b>	<b>Introduction</b> .....	- 37 -
<b>3.2</b>	<b>Assemblage</b> .....	- 37 -
<b>3.2.1</b>	<b>Assemblage avec contraintes</b> .....	- 37 -
Fig. 3.1	Contraintes les plus utilisé.....	- 37 -
Fig. 3.2	Toutes les composantes de la cintreuse dans une seule zone graphique.....	- 38 -
Fig. 3.3	Contrainte parallèle entre la pièce 8 et la pièce 1.....	- 38 -
Fig. 3.4	Contrainte coaxiale entre la pièce 8 et la pièce 1.....	- 39 -
Fig. 3.3	Contrainte parallèle entre l'ensemble précédent et la pièce 2.....	- 39 -
Fig. 3.4	Contrainte coaxiale entre l'ensemble précédent et la pièce 2.....	- 39 -
Fig. 3.5	Contraintes parallèle et coaxiale entre l'ensemble précédent et la pièce 6.....	- 40 -
Fig. 3.6	Contraintes parallèle et coaxiale entre l'ensemble précédent et la pièce 2.....	- 40 -
Fig. 3.7	Contraintes coaxiale et coïncidente de la pièce 5 de l'ensemble précédent.....	- 41 -
Fig. 3.7	Contraintes parallèle et coïncidente de la pièce 3 et de l'ensemble précédent.....	- 41 -
Fig. 3.8	Contraintes parallèle, coaxiale et coïncidente entre la pièce8 et la pièce4.....	- 42 -
Fig. 3.9	Contraintes parallèle, coaxiale et coïncidente de la pièce 8 et la pièce4 dans l'ensemble précédent.....	- 43 -
	Enfin l'assemblage des différents pièces de notre cintreuse présenté sur la figure 3.10 suivante..	- 43 -
Fig. 3.10	L'assemblage final de la cintreuse.....	- 43 -
<b>3.2.2</b>	<b>Assemblage avec le complément SolidWorks motion</b> .....	- 44 -
Fig. 3.11	Importation des composants de la cintreuse.....	- 44 -
Fig. 3.11	Passage directement à SolidWorks motion.....	- 45 -
Fig. 3.12	Les pièces cachées.....	- 45 -
Fig. 3.13	Glissement de clé.....	- 45 -
Fig. 3.14	La pièce 1 montrée.....	- 46 -
Fig. 3.15	Déplacement de la pièce 1.....	- 46 -
Fig. 3.16	Animation de l'assemblage complet.....	- 46 -
<b>3.3</b>	<b>Mise en plan</b> .....	- 47 -
Fig. 3.17	Dessin d'ensemble de notre cintreuse.....	- 47 -
Fig. 3.18	Dessin de définition de la pièce 1.....	- 47 -
Fig. 3.19	Dessin de définition de la pièce 2 (Vis).....	- 47 -
Fig. 3.20	Dessin de définition de la pièce 3 (Tige1).....	- 47 -
Fig. 3.21	Dessin de définition de la pièce 4 (Tige 2).....	- 47 -
Fig. 3.22	Dessin de définition de la pièce 5 (Crochet).....	- 47 -
		<b>- 58 -</b>

Fig. 3.23 Dessin de définition de la pièce 6 (Galet) .....	- 47 -
Fig. 3.24 Dessin de définition de la pièce 7 (Manette).....	- 47 -
Fig. 3.25 Dessin de définition de la pièce 8 (Sabot cintreur).....	- 47 -
<b>3.4 Conclusion</b> .....	- 57 -

## 4.1 Introduction

L'interaction de la simulation de mouvement et d'analyse avec l'étape de conception permet de se passer du prototypage assez coûteux des fois, et d'optimiser la durée de production en évitant les diverses corrections après fabrication. Ainsi l'analyse des contraintes ou analyse statique permet de calculer les déplacements, les déformations, et les contraintes dans une pièce en fonction du matériau et des actions extérieures dans un environnement virtuel.

Dans ce chapitre nous allons utiliser l'assistant d'analyse SIMULATIONXPRESS pour analyser la Pièce 5 (crochet). Dans la réalité cette pièce (étant en Zamak : alliage de zinc et d'aluminium) s'est cassée. Sachant qu'un matériau cède lorsque les contraintes atteignent un certain niveau ; et que d'autres matériaux différents commencent à céder à des niveaux de contraintes différents ; cette analyse se fera pour deux matériaux ce qui nous permettra de faire une comparaison entre les deux afin de trouver une solution optimale à notre problème.

## 4.2 Définition de SimulationXpress

SimulationXpress visualise clairement le comportement de la conception dans des conditions réelles, il est utilisé pour :

- identifier les zones de conceptions susceptibles de présenter des défauts.
- apprécier la réduction des coûts et des masses engendrés par la suppression des matières inutiles.
- Comparer les différents scénarios en appliquant des chargements et déplacements imposés : forces et pressions, couple, chargements des paliers et déplacements imposés fixes ou directionnels.

SimulationXpress inclut également d'autres fonctions, telles que l'optimisation des conceptions, la simulation des tests de chute, et des études thermiques, fréquentielles, de flambage et de fatigue.

Pour faire l'analyse de la pièce on utilise la méthode d'étude statique qui calcule les déplacements, les forces de réaction, les déformations, les contraintes et la distribution des coefficients de sécurité.

### 4.3 Analyse de la pièce 5 (crochet)

Pour l'analyse de la pièce 5 on commence par ouvrir le logiciel SolidWorks et on importe le dessin de cette pièce ensuite on démarre l'assistant d'analyse SimulationXpress comme illustré sur la figure 4.1 suivante :

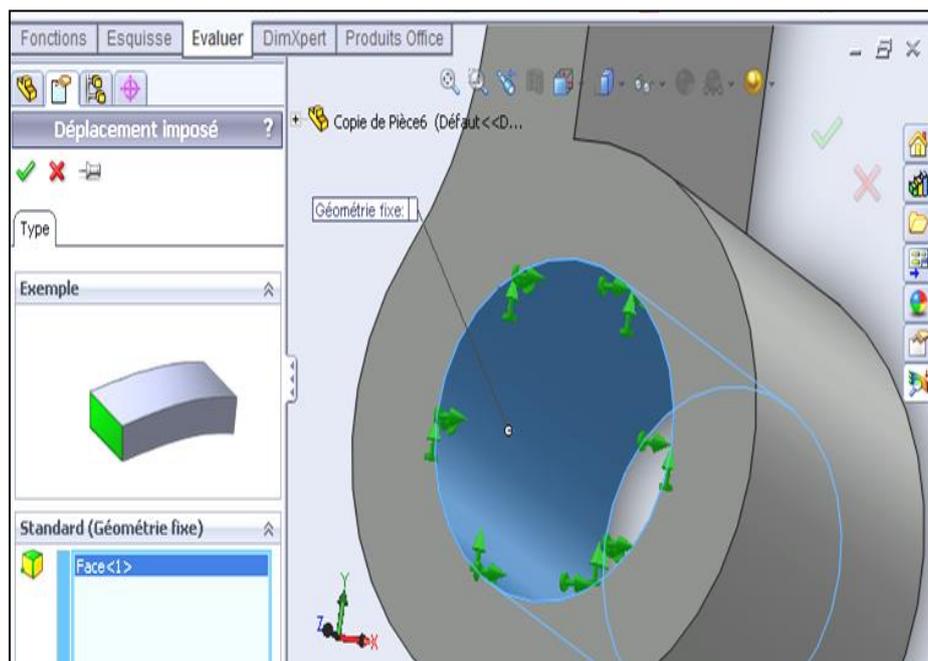


**Fig. 4.1 Présentation du logiciel d'analyse SimulationXpress**

#### 4.3.1 Application des déplacements imposés

On applique des déplacements imposés, comme indiqué sur l'assistant, pour empêcher la pièce de bouger lors de l'application de chargements, voir figure 4.2.

Il faut que les faces avec les déplacements imposés soient traitées comme étant parfaitement rigides.



**Fig. 4.2 Application d'un déplacement imposé**

### 4.3.2 Application des chargements

Pour simuler un chargement sur la pièce 5 (crochet) on applique une force de 200N et on choisit la direction de la force exercée comme montre la figure 4.3.

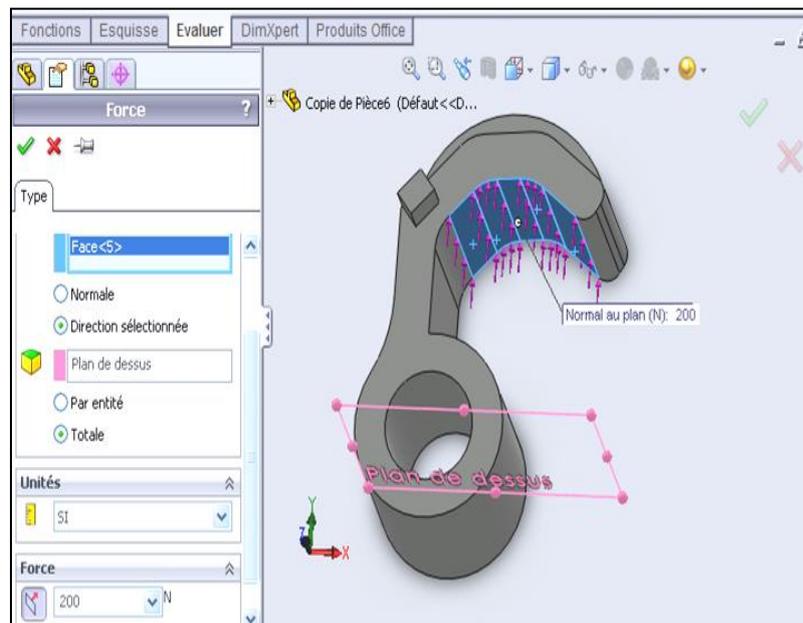


Fig. 4.3 Application des chargements

### 4.3.3 Choix du matériau de la pièce

L'étape suivante sur l'assistant d'analyse est le choix du premier matériau (qui est le zamak) ce qui permet d'ouvrir la fenêtre montrée sur la figure 4.4 suivante :

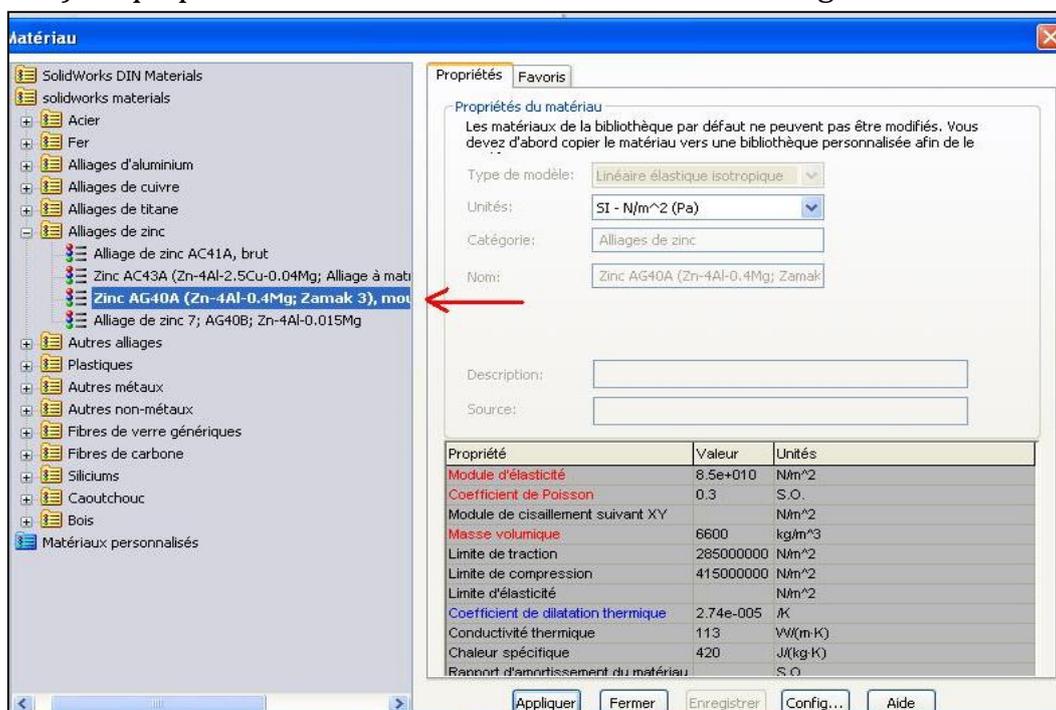


Fig. 4.4 Fenêtre des matériaux

Dans cette fenêtre on choisit le matériau adéquat (zamak) dont toutes les propriétés sont données sur la partie droite de la même fenêtre.

#### 4.3.4 Exécution de la simulation

Enfin on arrive à la simulation. Après l'exécution de la simulation le logiciel donne un rapport HTML où les informations suivantes sont affichées :

❖ *Informations sur les fichiers*

Nom du modèle: Pièce5

Emplacement du modèle: F:\Documents and Settings\Ghouti\Bureau\ouabel\Pièce5.SLDPRT

Emplacement des résultats: f:\docume~1\ghouti\locals~1\temp

Nom de l'étude: SimulationXpressStudy (-Défaut-)

❖ *Matériaux*

No.	Nom du corps	Matériaux	Masse	volumique
1	Corps volumique 1(Boss.-Extru.4)	Zinc AG40A (Zn-4Al-0.4Mg; Zamak 3), moulé	0.0557177 kg	8.44207e-006 m <sup>3</sup>

**Tableau.4-1. Propriétés du matériau**

❖ *Informations sur les chargements et les déplacements imposés :*

Déplacement imposé	
Fixe-2 <Pièce5>	sur <b>1 Face(s)</b> Fixe.
Chargements	
<b>Force-2</b> <Pièce5>	sur <b>5 Face(s)</b> appliquer une force de <b>200 N</b> normale au plan selon le plan de référence sélectionné <b>Plan de dessus</b> avec une distribution uniforme

**Tableau.4-2. Chargements et déplacements imposés**

❖ *Propriété d'étude :*

Informations sur le maillage	
Type de maillage:	Maillage volumique
Mailleur utilisé:	Maillage standard
Transition automatique:	Désactivé(e)
Maillage lissé:	Activé(e)
Vérif. du Jacobien:	4 Points
Taille de l'élément:	1.0185 mm
Tolérance:	0.050924 mm
Qualité:	Haute
Nombre d'éléments:	52140
Nombre de nœuds:	78274
Durée de création du maillage (hh:mm:ss):	00:00:05
Nom de l'ordinateur:	GHOUTI-71A84F13

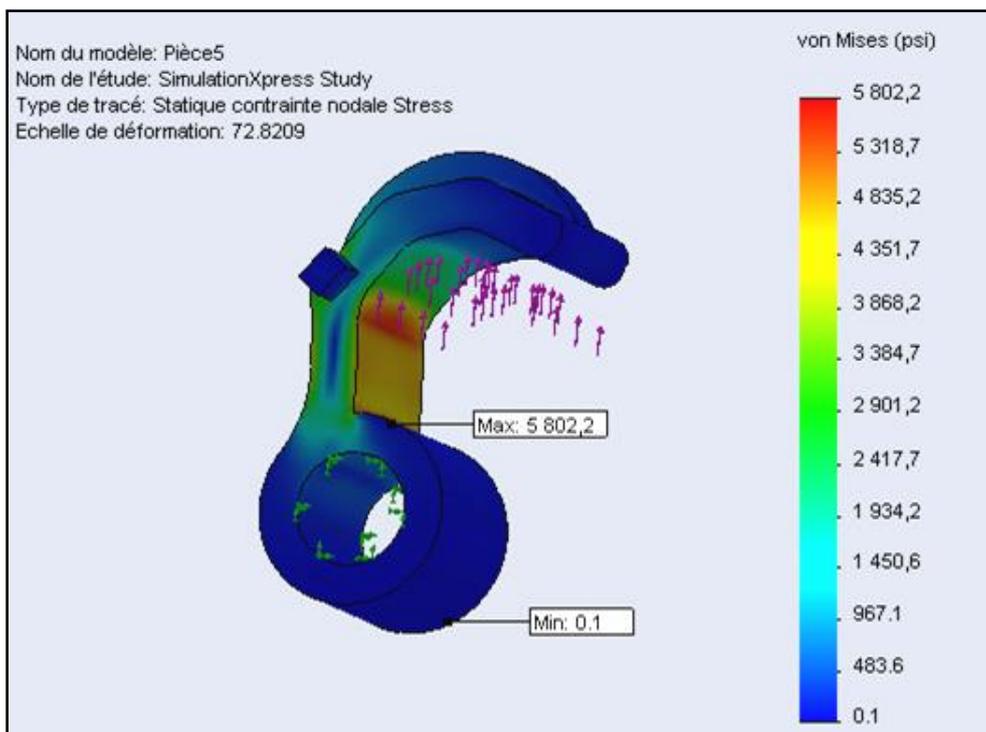
**Tableau.4-3. Informations sur le maillage**

❖ *Contraintes :*

Nom	Type	Min	Emplacement	Max	Emplacement
Stress	VON: contrainte de vonMises	0.116948 psi	(4.70634 mm, -8.82329 mm, 0.749998 mm)	5802.23 psi	(-0.929859 mm, 10.5326 mm, 8.25223 mm)

**Tableau.4-4. Contraintes**

La figure 4.5 suivante montre la zone à risque qui est donnée en rouge, et on remarque qu'en réalité la pièce s'est cassée pratiquement à cet endroit précis.



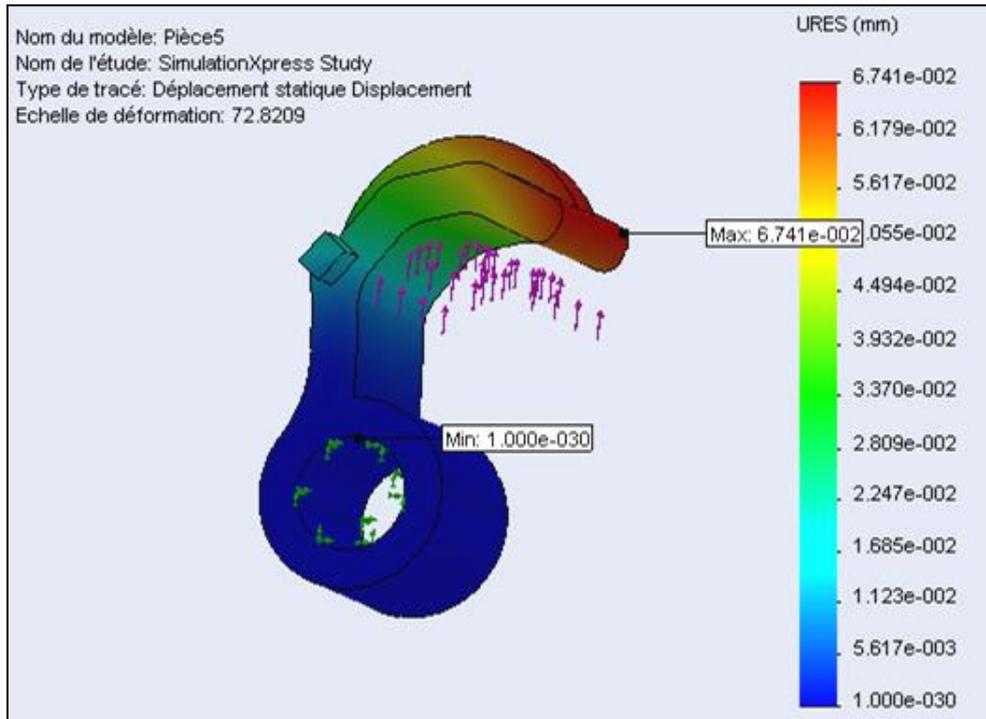
**Fig. 4.5 Pièce5-SimulationXpress Study-Contraintes**

❖ *Déplacements :*

Nom	Type	Min	Emplacement	Max	Emplacement
Déplacement	URES: Déplacement résultant	0 mm	(-5.9 mm, 7.22542e-016 mm, 19 mm)	0.067406 mm	(19.6029 mm, 31.181 mm, 0.748605 mm)

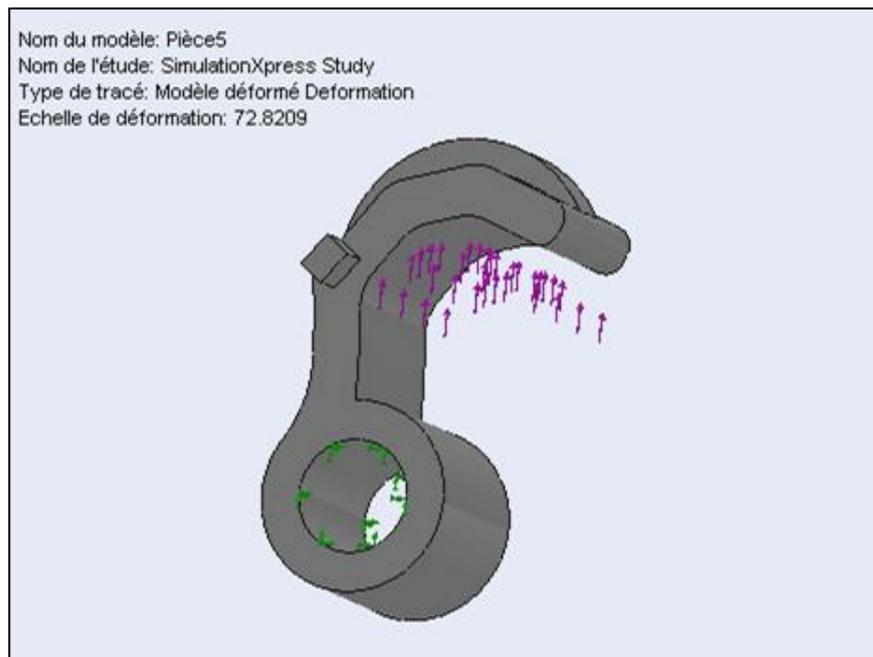
**Tableau.4-6. Déplacement**

La zone où le déplacement est maximal est indiquée en rouge sur la figure 4.6 suivante :



**Fig. 4.6 Pièce5-SimulationXpress Study-Déplacements**

❖ *Déformée :*



**Fig. 4.7 Pièce5-SimulationXpress Study-Déformation**

❖ *Annexe :*

<b>Nom du matériau:</b>	Zinc AG40A (Zn-4Al-0.4Mg; Zamak 3), moulé
<b>Description:</b>	
<b>Source Matériau:</b>	
<b>Type de modèle de matériau:</b>	Linéaire élastique isotropique
<b>Critère de ruine par défaut:</b>	Inconnu

**Tableau.4-7. Annexe de l'analyse**

Nom de la propriété	Valeur	Unités
Module d'élasticité	8.5e+010	N/m <sup>2</sup>
Coefficient de Poisson	0.3	NA
Masse volumique	6600	kg/m <sup>3</sup>
Limite de traction	2.85e+008	N/m <sup>2</sup>
Limite de compression	4.15e+008	N/m <sup>2</sup>
Coefficient de dilatation thermique	2.74e-005	/Kelvin
Conductivité thermique	113	W/(m.K)
Chaleur spécifique	420	J/(kg.K)

**Tableau.4-8. Propriété du matériau****4.4 Analyse de la pièce 5 avec autre matériau**

Après avoir fait l'analyse pour le premier matériau (zamak) on va maintenant choisir un autre matériau plus résistant (et plus couteux aussi) qui est l'acier non allié moulé. On fait la même analyse pour voir les nouveaux résultats qu'on pourra comparer avec les précédents.

Le rapport HTML donne quelques résultats similaires au premier matériau (qu'on ne va pas citer) et d'autres différents tels que :

❖ *Matériaux*

No.	Nom du corps	Matériaux	Masse	volumique
1	Corps volumique 1(Boss.-Extru.4)	Acier non allié moulé	0.0658482 kg	8.44207e-006 m <sup>3</sup>

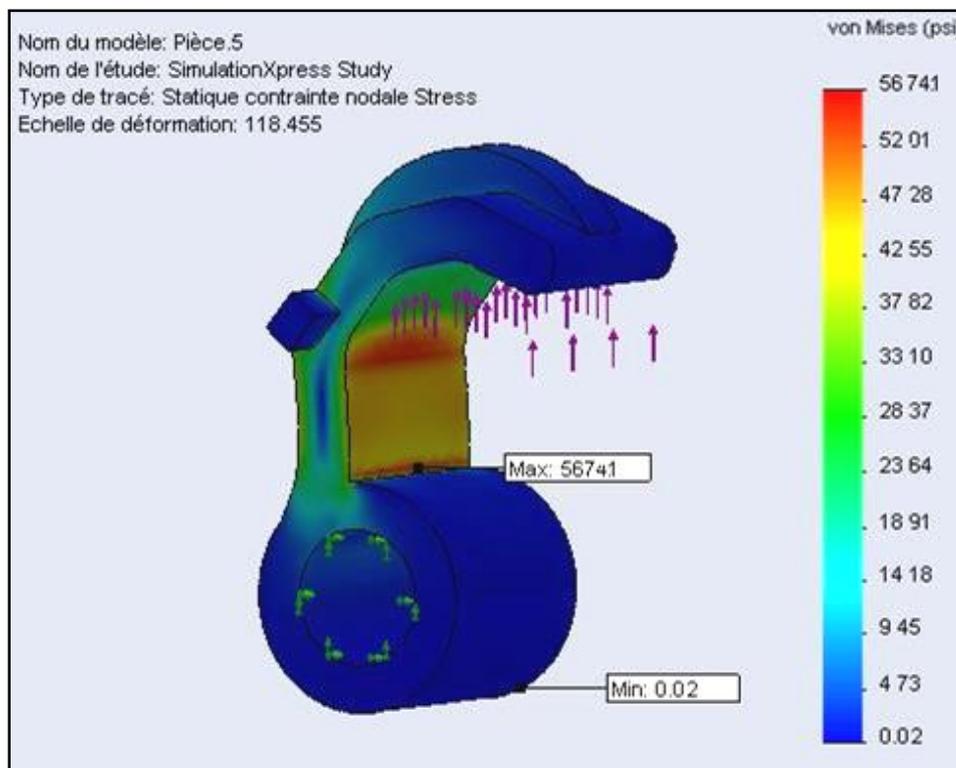
**Tableau.4-9. Propriétés du matériau**

❖ *Contraintes*

Nom	Type	Min	Emplacement	Max	Emplacement
Stress	VON: contrainte de von Mises	0.019518 psi	(4.70636 mm, -8.82328 mm, 0.749998 mm)	5674.1 psi	(-0.930855 mm, 10.5321 mm, 8.25245 mm)

**Tableau.4-10. Contraintes**

La figure 4.8 suivante montre la zone à risque qui est donnée en rouge, et on remarque qu'en réalité la pièce s'est cassée pratiquement à cet endroit précis.



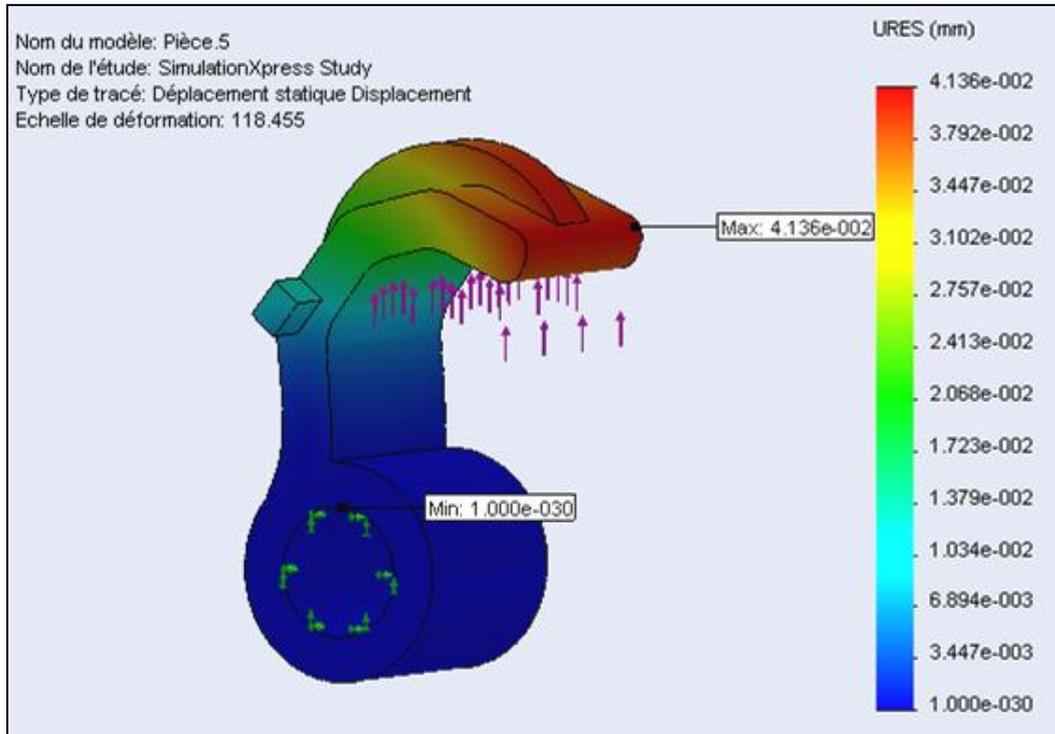
**Fig. 4.8 Pièce5-SimulationXpress Study-Contraintes**

❖ *Déplacements*

Nom	Type	Min	Emplacement	Max	Emplacement
Déplacement	URES: Déplacement résultant	0mm	(-5.9 mm, 7.22542e-016mm, 19 mm)	0.0413618 mm	(19.6059 mm, 31.181 mm, 0.748606 mm)

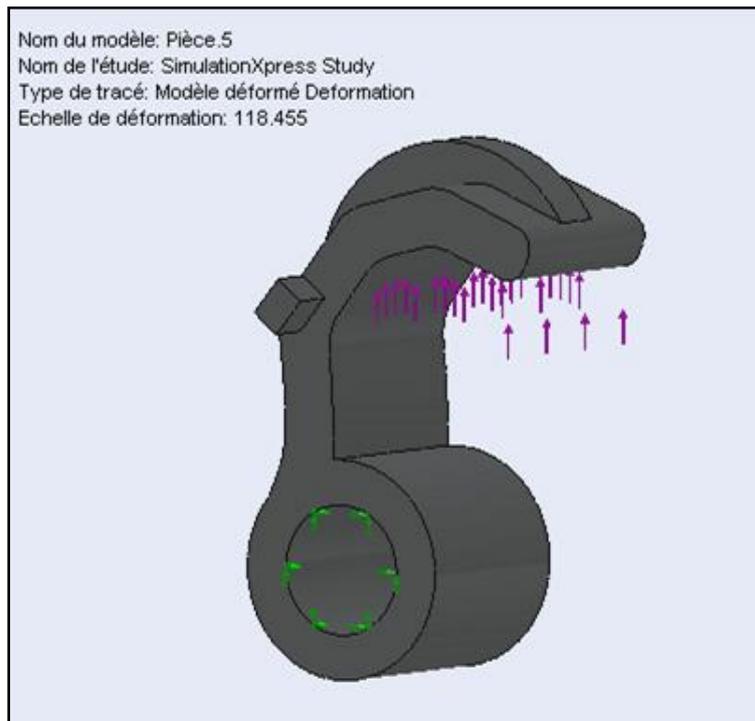
**Tableau.4-11. Déplacements**

La zone où le déplacement est maximal est indiquée toujours en rouge sur la figure 4.9 suivante :



**Fig. 4.9 Pièce5-SimulationXpress Study-Déplacements**

❖ *Déformée*



**Fig. 4.10 Pièce5-SimulationXpress Study- Déformation**

## ❖ Annexe

<b>Nom du matériau:</b>	Acier non allié moulé
<b>Description:</b>	
<b>Source Matériau:</b>	
<b>Type de modèle de matériau:</b>	Linéaire élastique isotropique
<b>Critère de ruine par défaut:</b>	Contrainte de von Mises max.

Tableau.4-12. Annexe de l'analyse

Nom de la propriété	Valeur	Unités
Module d'élasticité	2e+011	N/m <sup>2</sup>
Coefficient de Poisson	0.32	NA
Module de cisaillement	7.6e+010	N/m <sup>2</sup>
Masse volumique	7800	kg/m <sup>3</sup>
Limite de traction	4.8255e+008	N/m <sup>2</sup>
Limite d'élasticité	2.4817e+008	N/m <sup>2</sup>
Coefficient de dilatation thermique	1.2e-005	/Kelvin
Conductivité thermique	30	W/(m.K)
Chaleur spécifique	500	J/(kg.K)

Tableau.4-13. Propriété de matériau

#### 4.5 Analyse de la pièce 5 avec modification dans sa conception

Après avoir fait l'analyse pour le premier matériau (zamak) et le deuxième matériau (Acier non allié moulé) on va maintenant proposer une autre solution de modification dans la conception de la pièce 5 pour diminuer la contrainte et le déplacement maximal comme montré sur la figure 4.11 la partie rouge qui est modifiée dans l'épaisseur et la longueur de l'arc. On fait la même analyse pour voir les nouveaux résultats qu'on pourra comparer avec les deux précédents et par la suite trouver une solution optimale si c'est possible.

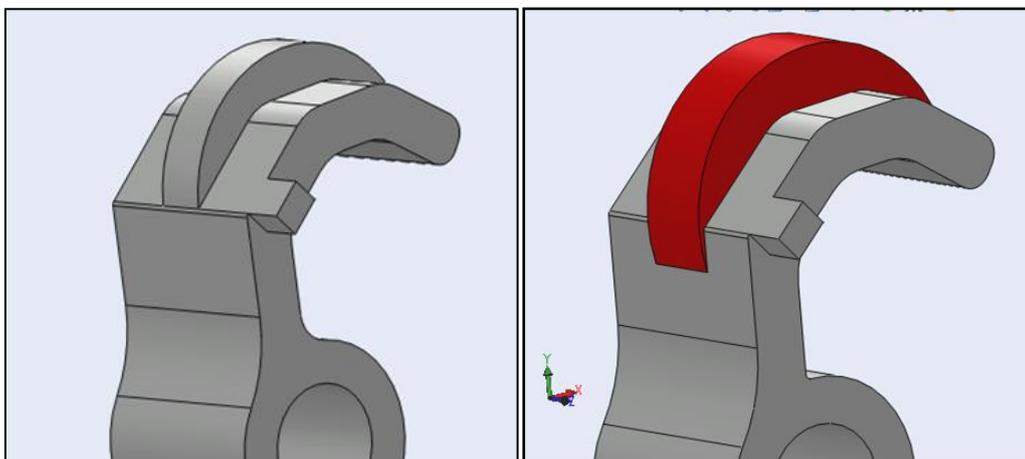


Fig. 4.11 Modification dans l'épaisseur et la longueur de l'arc

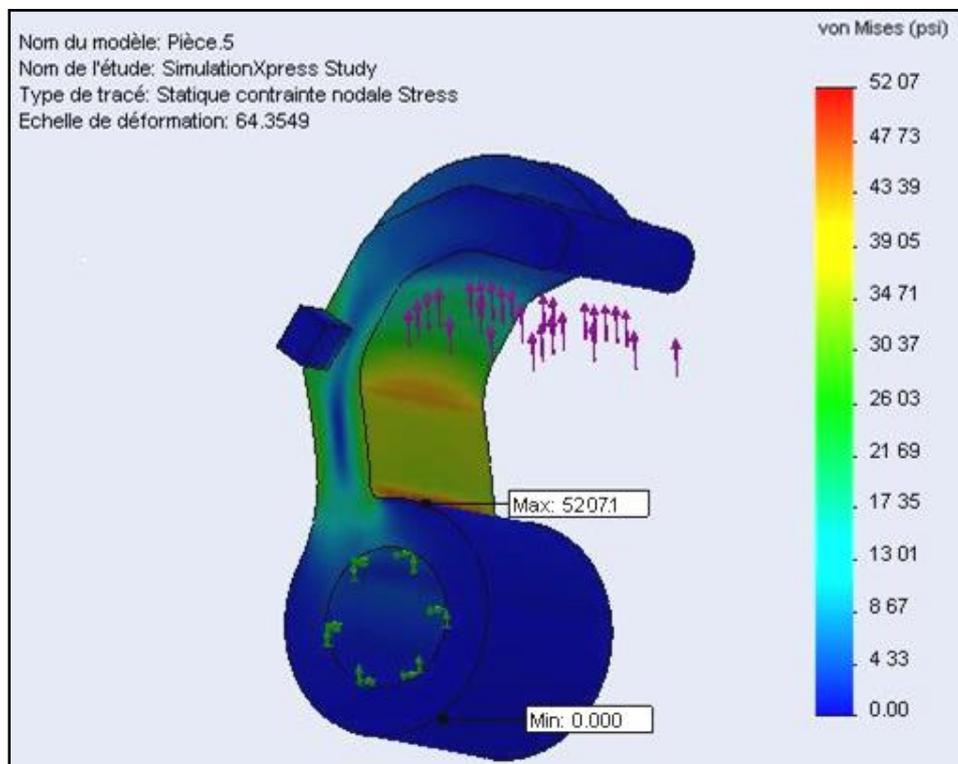
Le rapport HTML donne quelques résultats similaires au premier et deuxième matériau (qu'on ne va pas citer) et d'autres différents tels que :

#### ❖ Contraintes

Nom	Type	Min	Emplacement	Max	Emplacement
Stress	VON: contrainte de von Mises	0.000195652 psi	(4.24544 mm, -9.05407 mm, 18 mm)	5207.1 Psi	(-0.850061 mm, 10.665 mm, 10.748 mm)

**Tableau.4-14. Contraintes**

On remarque que la zone rouge qu'était sur la figure 4.8, est diminuée comme présente la figure 4.12.



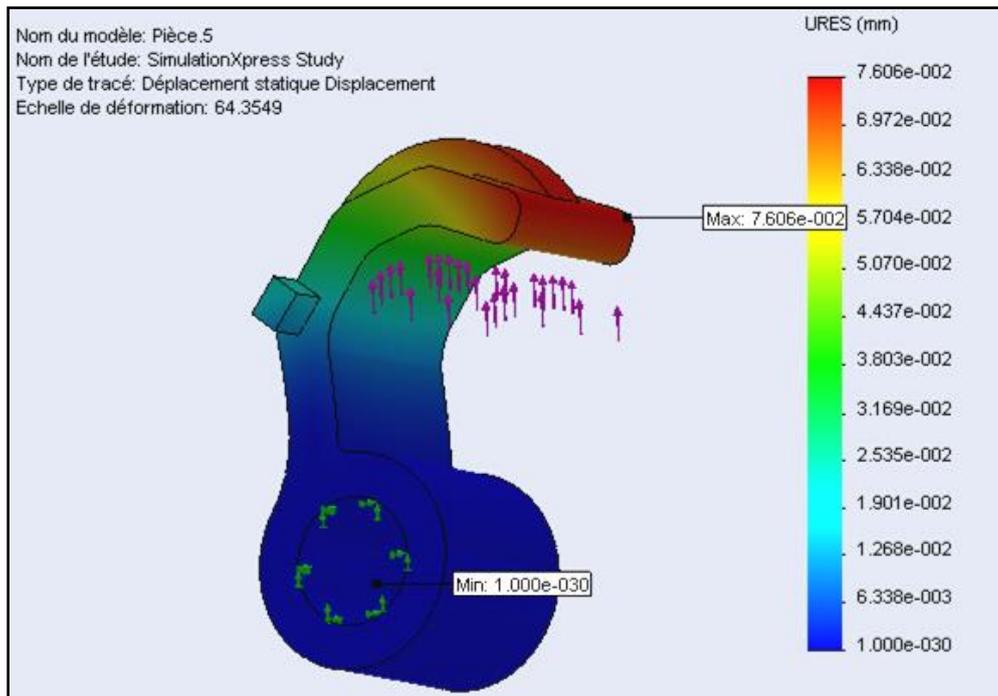
**Fig. 4.12 Pièce5-SimulationXpress Study-Contraintes**

#### ❖ Déplacements

Nom	Type	Min	Emplacement	Max	Emplacement
Displacement	URES: Déplacement résultant	0 mm	(-5.9 mm, 7.22542e- 016 mm, 19 mm)	0.0760563 mm	(19.6451 mm, 31.1808 mm, 0.748604 mm)

**Tableau.4-15. Déplacements**

La zone rouge indique le déplacement maximal comme montre la figure 4.13 suivante :



**Fig. 4.13 Pièce5-SimulationXpress Study-Déplacements**

Le tableau suivant contient les résultats finaux de l’analyse du crochet avec deux matériaux différents (Zamak et Acier non allié moulé), ainsi que l’analyse de cette même pièce en zamak dont on a modifié l’épaisseur et la longueur de l’arc, ce qui va nous permettre de faire la comparaison entre les trois et par la suite juger qui est la solution la plus économique pour notre pièce et éviter ainsi la rupture de cette dernière.

	Pièce 5		Pièce 5 modifiée
Matériaux	Zinc AG40A (Zn-4Al-0.4Mg; Zamak 3), moulé	Acier non allié moulé	Zinc AG40A (Zn-4Al-0.4Mg; Zamak 3), moulé
Contraintes	Min= 0.116948 psi	Min= 0.019518 psi	Min=0.0195652 psi
	Max= 5802.23 psi	Max= 5674.1 psi	Max= 5207.1 psi
Déplacements	Min= 0 mm	Min= 0 mm	Min= 0 mm
	Max= 0.067406 mm	Max= 0.0413618 mm	Max= 0.0760563 mm

**Tableau.4-16. comparaison d’analyse entre les deux matériaux**

On remarque d'après le tableau précédent que la contrainte maximale a diminué quand on a modifié la forme du crochet (pièce5) ; par la suite on peut dire que cette solution est meilleure que les deux premières et donc la plus optimale. On préfère opter pour cette solution sachant quand même qu'il existe d'autres peut être plus économique que celle-ci mais qu'on ne peut toutes citer.

#### **4.6 Conclusion**

L'analyse et la vérification des contraintes plus les déplacements du crochet (pièce5) ont fait l'objet de ce chapitre. Cette analyse a été faite pour le premier matériau le zamak, ensuite on a analysé cette même pièce avec un autre matériau qui est l'acier et enfin on a proposé une autre solution qui consistait à changer la forme de la pièce. Les résultats trouvés puis comparés nous ont permis de choisir la solution la plus économique parmi les deux proposées.

Tableau.4-1. Propriétés du matériau .....	- 61 -
Tableau.4-2. Chargements et déplacements imposés .....	- 61 -
Tableau.4-3. Informations sur le maillage.....	- 61 -
Tableau.4-4. Contraintes .....	- 62 -
Tableau.4-6. Déplacement .....	- 62 -
Tableau.4-7. Annexe de l'analyse.....	- 64 -
Tableau.4-8. Propriété du matériau .....	- 64 -
Tableau.4-9. Propriétés du matériau .....	- 64 -
Tableau.4-10. Contraintes .....	- 65 -
Tableau.4-11. Déplacements.....	- 65 -
Tableau.4-12. Annexe de l'analyse.....	- 67 -
Tableau.4-13. Propriété de matériau .....	- 67 -
Tableau.4-14. Contraintes .....	- 68 -
Tableau.4-15. Déplacements.....	- 68 -
Tableau.4-16. comparaison d'analyse entre les deux matériaux .....	- 69 -

# CONCLUSION

Le but de ce travail n'était pas seulement la rétro-conception d'une cintrreuse manuelle à tube 14mm, mais aussi 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 un état de l'art sur le cintrage d'une façon générale et les cintrreuses a été présenté. On a ensuite défini la conception assistée par ordinateur en expliquant l'intérêt de la CAO dans la production et ses applications dans divers secteurs.
- La deuxième étape a été la mesure des différentes pièces de la cintrreuse par les moyens de métrologie disponibles au laboratoire de l'université, ainsi que la modélisation de chaque pièce. Par la même occasion on a défini la modélisation, ses avantages et inconvénients ; ainsi que l'outil de CAO avec lequel on a travaillé qui est SolidWorks2010, en donnant ses caractéristiques et son fonctionnement.
- Après la modélisation de toutes les pièces, l'assemblage de ces dernières pour composer la cintrreuse a été fait en utilisant deux méthodes, par contraintes et avec le complément SolidWorks motion pour présenter et visualiser l'ensemble de notre cintrreuse. Les mises en plan de l'ensemble et de chaque pièce montrant les différentes vues des dessins ont finalisées cette partie.
- Enfin une analyse et vérification des contraintes et des déplacements du crochet (pièce5) a été réalisé avec deux matériaux différents le zamak et l'acier non allié moulé. Cette même analyse a été refaite pour le crochet en zamak après un petit changement dans la forme de la pièce. Les résultats trouvés puis comparés nous ont permis de choisir la solution la plus économique parmi les deux proposées.

L'assistance du logiciel "SolidWorks" m'a beaucoup aidé dans mon travail vis-à-vis de la précision de la conception des pièces et leur assemblage ainsi que leur simulation virtuelle, sans ce logiciel qui est l'un des outils informatiques de la (CAO) les plus indispensables dans les différents secteurs industriels aujourd'hui, je n'aurai jamais pu élaborer le reste de mon projet virtuellement et c'est ça l'avantage et le but de la (CAO) car elle permet de voir le produit avant qu'il ne soit fabriqué avec une précision très importante.

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. On peut aussi faire la simulation de la fabrication de cette cintruse par un logiciel de CFAO. La fabrication réelle de cette cintruse peut aussi être envisagée si on avait les moyens dans les ateliers de fabrication de l'université.

# Liste des figures

## CHAPITRE I

### GENERALITES SUR LE CINTRAGE ET LA CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR CAO

---

Fig. 1.1 Cintreuse de tôle manuelle.....	3
Fig. 1.2 Cintreuse de tôle électrique.....	4
Fig. 1.3 Cintreuse de tube manuelle .....	4
Fig. 1.4 Cintreuse de tube hydraulique .....	4
Fig. 1.5 Cintreuse de tube électrique .....	5
Fig. 1.6 Cintrage à froid par poussée.....	6
Fig. 1.7 Mode de fil de fer .....	10
Fig. 1.8 Modes surfaciques.....	11
Fig. 1.9 Mode solide.....	11

## CHAPITRE II

### MODELISATION DES PIECES DE LA CINTREUSE

---

Fig. 2.1 Le pied à coulisse .....	14
Fig. 2.2 Micromètre palmer .....	14
Fig. 2.3 Équerre rapporteur d'angle .....	15
Fig. 2.4 Les trois concepts de base (SolidWorks).....	16
Fig. 2.5 Assemblage des pièces.....	17
Fig. 2.6 Mise en plan d'une pièce .....	18
Fig. 2.7 Différente pièce de notre cintreuse .....	18

# CHAPITRE III

## ASSEMBLAGE ET RETROCONCEPTION DE LA CINTREUSE

---

Fig. 3.1 Contraintes les plus utilisé .....	37
Fig. 3.2 Toutes les composantes de la cintreuse dans une seule zone graphique.	38
Fig. 3.3 Contraint parallèle entre la pièce 8 et la pièce 1 .....	38
Fig. 3.4 Contraint coaxiale entre la pièce 8 et la pièce 1.....	39
Fig. 3.3 Contraint parallèle entre l'ensemble précédent et la pièce 2 .....	39
Fig. 3.4 Contraint coaxiale entre l'ensemble précédent et la pièce 2 .....	39
Fig. 3.5 Contraint parallèle et coaxial entre l'ensemble précédent et la pièce 6 ..	40
Fig. 3.6 Contraint parallèle et coaxial entre l'ensemble précédent et la pièce 2 ..	40
Fig. 3.7 Contrainte coaxial et coïncident de la pièce 5 de l'ensemble précédent.	41
Fig. 3.7 Contrainte parallèle et coïncident de la pièce 3 et de l'ensemble précédent.....	41
Fig. 3.8 Contrainte parallèle, coaxial et coïncident entre la pièce8 et la pièce4 ...	42
Fig. 3.9 Contrainte parallèle, coaxial et coïncident de la pièce 8 et la pièce 4 dans l'ensemble précédent.....	43
Fig. 3.10 L'assemblage final de la cintreuse .....	43
Fig. 3.11 Importation des composantes de la cintreuse.....	44
Fig. 3.11 Passage directement à SolidWorks motion. ....	45
Fig. 3.12 Cachement les pièces .....	45
Fig. 3.13 Glissement de clé .....	45
Fig. 3.14 Montre la pièce 1 .....	46
Fig. 3.15 Déplacement la pièce 1 .....	46
Fig. 3.16 Animation de l'assemblage complet.....	46
Fig. 3.17 Dessin d'ensemble de notre cintreuse.....	48
Fig. 3.18 Dessin de définition de la pièce 1 .....	49
Fig. 3.19 Dessin de définition de la pièce 2 (Vis) .....	50
Fig. 3.20 Dessin de définition de la pièce 3 (Tige1) .....	51
Fig. 3.21 Dessin de définition de la pièce 4 (Tige 2) .....	52
Fig. 3.22 Dessin de définition de la pièce 5 (Crochet) .....	53
Fig. 3.23 Dessin de définition de la pièce 6 (Galet) .....	54

<b>Fig. 3.24 Dessin de définition de la pièce 7 (Manette) .....</b>	<b>55</b>
<b>Fig. 3.25 Dessin de définition de la pièce 8 (Sabot cintreur) .....</b>	<b>56</b>

## **CHAPITRE IV**

### **ANALYSE DU CROCHET (PIECE 5)**

---

<b>Fig. 4.1 Présentation du logiciel d'analyse SimulationXpress.....</b>	<b>59</b>
<b>Fig. 4.2 Application d'un déplacement imposé.....</b>	<b>59</b>
<b>Fig. 4.3 Application des chargements .....</b>	<b>60</b>
<b>Fig. 4.4 Fenêtre des matériaux .....</b>	<b>60</b>
<b>Fig. 4.5 Pièce5-SimulationXpress Study-Contraintes .....</b>	<b>62</b>
<b>Fig. 4.6 Pièce5-SimulationXpress Study-Déplacements.....</b>	<b>63</b>
<b>Fig. 4.7 Pièce5-SimulationXpress Study-Déformation.....</b>	<b>63</b>
<b>Fig. 4.8 Pièce5-SimulationXpress Study-Contraintes .....</b>	<b>65</b>
<b>Fig. 4.9 Pièce5-SimulationXpress Study-Déplacements .....</b>	<b>66</b>
<b>Fig. 4.10 Pièce5-SimulationXpress Study- Déformation .....</b>	<b>66</b>
<b>Fig. 4.11 Modification dans l'épaisseur et la longueur de l'arc.....</b>	<b>67</b>
<b>Fig. 4.12 Pièce5-SimulationXpress Study-Contraintes .....</b>	<b>68</b>
<b>Fig. 4.13 Pièce5-SimulationXpress Study-Déplacements .....</b>	<b>69</b>

# Liste des tableaux

## CHAPITRE IV

### ANALYSE DU CROCHET (PIECE 5)

---

Tableau.4-1. Propriétés du matériau .....	61
Tableau.4-2. Chargements et déplacements imposés.....	61
Tableau.4-3. Informations sur le maillage.....	61
Tableau.4-4. Contraintes.....	62
Tableau.4-6. Déplacement.....	62
Tableau.4-7. Annexe de l'analyse.....	64
Tableau.4-8. Propriété du matériau .....	64
Tableau.4-9. Propriétés du matériau .....	64
Tableau.4-10. Contraintes .....	65
Tableau.4-11. Déplacements .....	65
Tableau.4-12. Annexe de l'analyse .....	67
Tableau.4-13. Propriété de matériau .....	67
Tableau.4-14. Contraintes .....	68
Tableau.4-15. Déplacements .....	68
Tableau.4-16. comparaison d'analyse entre les deux matériaux .....	69

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

[1] : <http://cintreuse.net/>

[2]: <http://jesan-kovo.czech-trade.fr/machines-a-cintrer-les-toles>

[3] : <http://jesan-kovo.czech-trade.fr/machines-a-cintrer-les-profiles>

[4] :<http://www.beep.ird.fr/collect/thies/index/assoc/HASH011d.dir/pfe.gm.0064.pdf>

[5] : [http://www.rocdacier.com/ressource.n.84/cours-sur-le-cintrage-de-tubes-.html#parties\\_tube\\_cintre](http://www.rocdacier.com/ressource.n.84/cours-sur-le-cintrage-de-tubes-.html#parties_tube_cintre)

[6] : BABA AHMED-NACIM, diplôme d'ingénieur d'état 2007/2008, Conception assistée par ordinateur d'un véhicule sportif monoplace.

[7] : Patrick GILLET, Conception assistée par ordinateur (CAO), Techniques de l'Ingénieur, document t7300

[8] : <http://www.epi.asso.fr/revue/dossiers/d12p123.htm>

[9] :[http://fr.wikipedia.org/wiki/Conception\\_assistée\\_par\\_ordinateur](http://fr.wikipedia.org/wiki/Conception_assistée_par_ordinateur)

[10] : Pascal Rétif, La CAO accessible à tous avec solidworks, Tome 1, 2002

[11]: [http://www.general-files.com/download/gs4c07c8e0h32i0/formation\\_sw2004.pdf.html](http://www.general-files.com/download/gs4c07c8e0h32i0/formation_sw2004.pdf.html)

[12] : Mme Cheikh N, cours modélisation par outil CAO2, Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen.

[13] : solidworks.fr Profil de la société [Purdue Université](#) Purdue Research and Education Centre for Information Systems en génie [1997](#).

# Abréviations

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

K: coefficient de cintrage

D : diamètre extérieur des tubes

e : épaisseur du tube

R : rayon moyen de cintrage

DAC: Design Augmented by Computer

IBM: International Business Machines Corporation

CAD: computer aided design

CFAO : Conception et fabrication Assistée par Ordinateur

2D : Dessin à deux dimensions

3D : Dessin à trois dimensions

psi : pound per square inch

## RESUME

De notre temps Les cintreuses constituent un outil indispensable pour les entreprises spécialisées dans la fabrication des mobiliers ainsi que dans notre vie quotidienne.

Dans notre travail, nous avons essayé de donner quelques notions fondamentales sur les cintreuses, leurs types, et leur fonctionnement ainsi qu'une vue générale sur la CAO et ses domaine d'utilisation.

Ensuite une partie modélisation présentant le choix de l outil informatique SolidWorks 2010, ainsi que les différentes étapes pour la conception de chaque pièce de notre cintreuse.

Une troisième partie est consacrée à l'assemblage des différentes pièces qui composent notre modèle, ensuite une animation de montage de la cintreuse.

Et enfin une analyse par l'assistant SimulationXpress de la pièce 5 (le crochet) pour laquelle nous avons déterminé les contraintes, les déformations et les déplacements pour deux matériaux différents. Par la suite une comparaison entre les résultats qui ont été faites.

---

## ABSTRACT

From our time the bending machines constitute essential tools for the specialized companies in the manufacturing of furniture like in our daily life.

In our work, we tried to give some basic concepts on the bending machines, their types, and their operation as well as a general sight on the CAO and its areas of use.

Then a modeling part presents the selection of computer tools SolidWorks 2010, and the various stages for the design of each part of our bending machine.

A third part is devoted for the assembly of the various parts which compose our model, then an animation of assembly of the bending machine.

And finally an analysis by the SimulationXpress assistant of the part 5 (the hook) for which we determined the constraints, the deformations and displacements for two different materials. There after a comparison between the results was made.

---

## ملخص

في وقتنا أصبحت آلات الانحناء تشكل أدوات أساسية للشركات المتخصصة في تصنيع الأثاث كما هو الحال في حياتنا اليومية.

في عملنا، حاولنا إعطاء بعض المفاهيم الأساسية عن الآلات والانحناء، وأنواعها، وتشغيل، وكذلك مشهدا عاما عن CAO و مجال تطبيقاتها.

كما خصصنا جزءا للتصميم قدمنا فيه اختيار أدوات الكمبيوتر سوليدوروكس 2010، إضافة إلى مختلف مراحل تصميم كل جزء من آلة الانحناء لدينا .

و جزء ثالث لتجميع الأجزاء المختلفة التي تشكل نموذجنا، و دعمنا ذلك بأمثلة حية.

وأخيرا تحليل من قبل مساعد SimulationXpress للقطعة 5 (هوك) التي أبرزنا من أجلها القيود و التشوهات و الحركات لمادتين مختلفتين , بعد ذلك قدمنا مقارنة بين النتائج.