

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté du Génie de la Construction

Département de Génie Mécanique



Mémoire fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique en
Génie mécanique

Spécialité : fabrication mécanique et productique

Thème

Etude et conception d'un outil de pliage pour
la fabrication du cache ventilateur
d'une cuisinière ENIEM

Encadré par :
Mr. K. HACHOUR

Réalisé par :
- KRIM Sid-ali
- GUEDJOU Liza

Proposé par :
ENIEM sous la direction de
Mr. M. CHALAL

Promotion 2023/2024

Remerciement

Nous remercions tout d'abord le bon Dieu qui nous a donné la foi et le courage pour accomplir ce projet.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et notre gratitude à notre promoteur Mr. K. HACHOUR pour ses conseils, ses orientations ainsi que sa disponibilité tout au long de Notre travail.

Nous tenons à remercier tout particulièrement, notre co- promoteur Mr. Mourad CHAALAL, qui a suivi au quotidien notre travail. Sa très grande disponibilité a rendu ce mémoire particulièrement agréable. Son expertise, ainsi que ses conseils avisés ont été très formateurs et d'un très grand secours durant ce projet

Nous exprimons notre reconnaissance à tout le personnel de l'unité cuisson (service méthode) de l'ENIEM Oued Aissi, pour nous avoir dirigés et orientés pendant toute la durée de notre stage au sein de l'entreprise.

Nos plus vifs remerciements vont aussi à tous les membres de jury pour avoir accepté d'honorer par leur jugement notre travail. Sans oublier nos parents qui ont sacrifié jusqu'aujourd'hui, aussi leurs encouragements incessants tout le long de notre parcours.

Enfin, nos remerciements vont à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce travail.

Dédicace

À mes merveilleux parents, sœurs bien-aimées et amis précieux,

En ce moment solennel, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers vous, car vous avez été les fondations solides sur lesquelles repose ce mémoire de fin d'études. Votre amour inconditionnel, vos encouragements constants et votre soutien inébranlable ont été des sources d'inspiration inestimables tout au long de ce parcours académique.

À mes chers parents, vous avez été mes premiers enseignants et mes plus grands défenseurs. Votre dévouement et vos sacrifices ont rendu possible cette réalisation. Vos conseils avisés ont éclairé ma route vers la réussite, et je suis honoré de porter votre héritage dans chaque ligne de ce mémoire.

À mes sœurs bien-aimées, vous avez été mes compagnes de joie et de peine.

Votre présence a rendu ce voyage plus coloré et significatif. Vos encouragements chaleureux ont été un moteur d'inspiration pour aller de l'avant, et je vous suis reconnaissant de l'amour inestimable que nous partageons.

Je dédie ce travail à toute ma famille.

Tous mes amis (es) et tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

SID-ALI

Dédicace

C'est avec un grand honneur que je dédie ce modeste travail :

Mes très chers parents qui m'ont aidé et soutenu tout au long de mes études.

Mes sœurs : Lynda, Katia et Yasmine.

Ma grand-mère.

Mes amies : Koula, Lynda, Lina et Melissa.

Tous mes oncles et tantes.

Tous mes cousins et cousines.

À la mémoire de tous ceux qui nous ont quittés si tôt.

LIZA

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
------------------------------------	----------

PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

1. Historique :.....	2
2. Emplacement géographique :	3
3. Constitution de l'ENIEM :.....	3
4. Missions et activités principales de chaque unité :	3
4.1 Direction générale :	4
4.2 L'unité froid (U.F).....	4
4.3 L'unité cuisson (U. CUIS).....	5
4.4 L'unité climatisation (U.C.L).	5
4.5 L'unité prestation technique (U.P.T).	5
4.6 L'unité commerciale (U.C).	6
4.7 L'unité sanitaire (U.S).....	6
4.8 La filiale FILAMP.....	6
5. Politique de l'entreprise ENIEM.....	6
5.1 Politique qualité :	6
5.2 Politique environnementale de l'ENIEM :	7
6. L'objectif de la direction.....	7

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES MATERIAUX

I.1 Introduction:	9
I.2 Méthodes de sélection des matériaux :	9
I.3 Classification des matériaux:	10
I.3.1 Les polymères:.....	10
I.3.2 Les céramiques:.....	10
I.3.3 Les composites:.....	11
I.3.4 Les matériaux métalliques:	12
I.3.4.1 Aluminium (Al):	12
I.3.4.2 Cuivre (Cu):.....	13

I.3.4.3	Fer (Fe):	15
I.3.4.4	Les fontes	16
I.3.4.5	Les aciers:	17
I.4	Traitements thermiques des aciers:	19
I.5	Conclusion :	22

CHAPITRE II : PROCEDES DE MISE EN FORME DES PIECES

MECANIQUES PAR DEFORMATION

II.1	INTRODUCTION.....	23
II.2	Définition du formage.....	23
II.3	Le travail des métaux à l'état massif.....	24
II.3.1	Formage par compression:.....	24
II.3.1.1	Laminage:	24
II.3.1.2	Forgeage :	26
II.3.1.3	Matriçage:.....	27
II.4	Travail des métaux en feuille :	28
II.4.1	L'emboutissage:	28
II.4.2	Emboutissage à froid (et à chaud)	29
II.4.2.1	Emboutissage à froid	29
II.4.2.2	L'emboutissage à chaud (200° à 500°)	30
II.4.2.3	Emboutissage multi-passes :	31
II.4.3	Découpage des tôles:	33
II.4.3.1	Découpage en petites séries	33
II.4.3.2	Découpage petites et moyennes séries	33
II.4.3.3	Découpage Moyennes et grandes séries	33
II.4.4	Le pliage:.....	35
II.4.4.1	Différents types de pliage	35
II.4.4.2	Caractéristiques d'un pli:.....	38
II.4.4.3	Paramètres influents sur l'opération de pliage	39
II.4.4.4	Calcul des efforts de pliage.....	41
II.4.4.5	L'outillage:.....	42

II.5 Conclusion:	43
------------------------	----

CHAPITRE III : ETUDE ET CONCEPTION DE L'OUTIL DU PLIAGE

III.1 Introduction:	44
III.2 Travail demandé:	44
III.2.1 Emplacement de la pièce:	45
III.3 Cahier des charges:	45
III.3.1 Definition:	45
III.3.2 Caractéristiques de la tôle:	46
III.3.3 Aspect de surface :	46
III.3.4 Livraison:	47
III.4 Etude des paramètres du pliage.....	47
III.4.1 Le jeu de pliage:	47
III.4.2 Calcul des efforts de pliage :	47
III.4.3 Calcul d'effort de dévêtissage :	49
III.4.4 Choix de nombre de ressorts :	50
III.4.5 Choix des ressorts d'éjection :	52
III.4.6 Calcul de l'effort total que doit fournir la presse : (F_{pr})	53
III.4.7 Choix de presse à utiliser :	53
III.5 Conception de l'outil.....	54
III.5.1 La conception assistée par ordinateur (CAO).....	54
III.5.2 Les éléments constituant l'outil :	55
❖ <u>Partie inférieure :</u>	
a. Semelle inférieure :	55
b. Matrice	56
c. Bride de fixation.....	56
d. Colonne de guidage	57
e. Butée de fin de course	57
f. Axe de guidage inférieur	57
g. Poinçon de pliage inférieur (Contre poinçon de pliage)	58
h. Ejecteur	58

❖ Partie supérieure :	
a. Semelle supérieure	59
b. Serre flan	59
c. Embase	60
d. Poinçon de pliage supérieur	60
III.5.3 Indication d'assemblage	60
III.5.4 Les matériaux utilisés	61
III.6 Conclusion:	62
CONCLUSION GENERALE	63

Liste des figures

CHAPITRE I

Figure I.1 : Les polymères.....	10
Figure I.2: Les céramiques.....	11
Figure I.3 Différents types de composite.....	11
Figure I.4 : Production de l'aluminium	12
Figure I.5: Cuivre (Cu).....	13
Figure I.6: Fer (Fe)	15
Figure I.7: La fonte	16
Figure I.8 : La trempe	20

CHAPITRE II

Figure II.1: Principe du laminage	24
Figure II.2: Schéma d'une cage quarto de laminage	25
Figure II.3: Train de laminage	26
Figure II.4 Principe de matriçage.....	28
Figure II.5: outils à simple effet.....	29
Figure II.6: outil à double effet.....	29
Figure II.7 : Emboutissage multi-passes.....	31
Figure II.8 : 1 ^{ère} phase d'emboutissage	32
Figure II.9: 3 ^{ème} phase d'emboutissage.....	32
Figure II.10: Relèvement du poinçon et serre-flan	32
Figure II.11 : Exemple Découpe de tôles au plasma	34
Figure II.12: Exemple de crevage.....	34
Figure II.13: Exemple de cisaillement d'une tôle.....	35
Figure II.14 : Vé et contre-vé en pliage.....	36
Figure II.15: pliage en U.....	37
Figure II.16: Exemple d'une pièce pliée en L.....	37
Figure II.17: Fibre neutre	38
Figure II.18: Différents rayons dans un pli.	39

Figure II.19: Retour élastique.....	40
-------------------------------------	----

CHAPITRE III

Figure III.1 : Cache ventilateur de la cuisinière ENIEM.....	44
Figure III.2: Emplacement de Cache ventilateur	45
Figure III.3: Abaque de classification des ressort (STEINEL) [19]	50
Figure III.4 : Abaque de classification des ressort (STEINEL) [19]	51
Figure III.5: Abaque de classification des ressort (STEINEL) [19]	52
Figure III.6: Fenêtre principale de SolidWorks (outil)	55
Figure III.7: Semelle inferieure	56
Figure III.8: Matrice.....	56
Figure III.9: bride	56
Figure III.10 : Colonne de guidage.....	57
Figure III.11: Butée de fin de course.....	57
Figure III.12: Axe de guidage inférieur	58
Figure III.13: Poinçon de pliage inférieur (Contre poinçon de pliage).....	58
Figure III.14:Ejecteur.....	58
Figure III.15 : Semelle supérieure	59
Figure III.16: Serre flan	59
Figure III.17: Embase.....	60
Figure III.18: Poinçon de pliage supérieur	60
Figure III.19: vis CHC.....	61

Liste des tableaux

Tableau III.1 Caractéristiques Chimiques de la tôle.....	46
Tableau III.2 Caractéristiques Mécaniques de la tôle.....	46
Tableau III.3 : Choix de presse à utiliser (T33 excentrique)	54
Tableau III.4: Les différents matériaux utilisés.....	62

Liste des symboles

ENIEM : Entreprise National des Industries Electroménagers

- **R_{mini}** : Rayon minimal de pliage
- **$A\%$** : Allongement après rupture
- **$Z\%$** : Coefficient de striction
- **R_e** = Rayon extérieur. (mm)
- **R_m** = Rayon moyen. (mm)
- **R_i** = Rayon intérieur. (mm)
- **F** : Force de pliage en [N].
- **R_m** : la résistance mécanique du métal à plier (N/mm²).
- **L** : longueur pliée.
- **e** : épaisseur de la tôle (mm).
- **V** : ouverture du V (mm).
- **K** : un coefficient dépendant de V .
- **F** : Effort de pliage (N).
- **e** : L'épaisseur de la tôle, (en mm).
- **L** : La longueur de la ligne de pliage, (en mm).
- **R_c** : Résistance de la tôle au cisaillement, (en N /mm²).
- **F_{pr}** : Effort de la presse (N).
- **F_p** : Effort total de pliage (N).
- **F_{dev}** : Effort de dévêtissage (N).
- **F_{eject}** : Effort d'éjection (N).

INTRODUCTION GENERALE

La fabrication mécanique est un domaine vaste et crucial pour la production d'une multitude de pièces et d'outils. Elle englobe un ensemble de techniques visant à transformer des matériaux bruts en pièces mécaniques fonctionnelles et conformes aux exigences de conception. Ses objectifs consistent à étudier, concevoir et fabriquer différents pièces et outils, mais aussi effectuer des contrôles, des réparations et des réglages multiples.

La mise en forme des tôles par déformation est un procédé qui nous permet de transformer les tôles en pièces de formes tridimensionnelles. Cette technique est largement utilisée dans plusieurs domaines comme l'automobile, l'aéronautique et l'électroménager. C'est un procédé polyvalent et économique qui repose sur l'application des forces sur une tôle afin de la déformer plastiquement, autrement dit, après le retrait des forces, la tôle conserve sa nouvelle forme, c'est une opération irréversible.

L'entreprise ENIEM, nous a attribué la tâche de faire une étude et la conception d'un outil pour la réalisation d'un cache ventilateur d'une cuisinière. Le procédé de pliage a été considéré comme l'approche la plus appropriée pour transformer la géométrie de cette pièce en produit final souhaité.

Afin de répondre efficacement aux exigences de l'entreprise, il est indispensable de posséder une compréhension approfondie des principes physiques régissant les opérations de mise en forme des matériaux. Cette maîtrise s'étend à l'architecture des outils et à la sélection rigoureuse des machines les plus performantes pour obtenir des résultats optimaux.

Dans ce projet de fin d'études, nous avons décidé de répartir les tâches du mémoire de la manière suivante :

Le mémoire débutera d'une introduction générale, suivie d'une présentation de l'entreprise ENIEM.

Le premier chapitre constituera des généralités sur les matériaux.

Le deuxième chapitre abordera les procédés de mise en forme des pièces mécaniques.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude et la conception de l'outil.

À l'issue de ce travail, nous sommes parvenus à dégager une conclusion générale.

Présentation de l'ENIEM :



2. Historique :

L'entreprise nationale des industries électroménagères (ENIEM) est née après la restructuration de l'entreprise mère la SONELEC, le 02 janvier 1983.

ENIEM est entrée en production (sous le nom de l'entreprise la SONELEC), à partir de janvier 1977, dont l'activité principale est la fabrication et la commercialisation d'appareils électroménagers.

En 1989, l'entreprise a connu une baisse brusque de production due à la concurrence du marché. Cette situation a provoqué sa transformation en société par action au capital de 40.000.000 DA, dans le but est d'améliorer la recherche et le développement de ses produits.

Devenu de nos jours, le leader de l'électroménagère en Algérie et cela dans divers domaines tels que :

- Les appareils ménagers domestiques (climatisation, cuisson, réfrigération et conservation à Oued Aïssi).
- Les lampes d'éclairage à Mohammadia (Mascara).
- Les produits sanitaires à Khemis Miliana (Ain Defla).

Ses produits sont destinés au grand public et la distribution se fait par des agents agréés dont la liste se trouve au niveau de l'unité commerciale (Département vente).

3. Emplacement géographique :

Elle est située dans la zone industrielle AISSAT IDIR de Oued-Aissi, à 7 Km chef-lieu de la Wilaya Tizi-Ouzou, à proximité de la route nationale ce qui facilite son accès direction générale est situer à la sortie sud-ouest, de la ville de Tizi-Ouzou.

4. Constitution de l'ENIEM :

L'entreprise ENIEM est constituée de :

- La direction générale (**D.G**).
- L'unité froid (**U.F**).
- L'unité cuisson (**U. CUIS**).
- L'unité climatisation (**U.C.L**).
- L'unité prestation technique (**U.P.T**).
- L'unité commerciale (**U.C**).
- L'unité sanitaire (**U.S**).
- La filiale **FILAMP**.

5. Missions et activités principales de chaque unité :

La mission de l'ENIEM est la fabrication, le montage, le développement et la Commercialisation des appareils ménagers, le développement et la recherche dans le domaine des branches clés de l'électroménager notamment :

- Appareil de réfrigération.
- Appareil de congélation.
- Appareil de climatisation.
- Appareil de cuisson.
- Petits appareils ménagers « PAM ».

Et chaque unité a sa propre mission.

4.1 Direction générale :

La direction générale est une unité responsable de stratégie, du développement de l'entreprise et ce tenant compte de résolution de son conseil d'administration. Elle exerce son autorité hiérarchique, fonctionnelle sur l'ensemble des directions et des unités. Le président directeur générale est assisté par les cadres dirigeants chargés des principales fonctions de l'entreprise suivante :

- Direction industrielle (DI).
- Direction développement et partenariat (DDP).
- Direction centrale finance et comptabilité (DFC).
- Direction des ressources humaines (DRH).
- Direction planification et contrôle de gestion (DPG).
- Direction marketing et communication (DMC).
- Direction qualité (DQ).

4.2 L'unité froid (U.F).

Elle est de loin l'unité la plus importante du point de vue effectif, elle produit plusieurs modèles de réfrigérateurs et congélateurs, sa mission globale est de produire et développer les produits de froid domestique. Dont ses activités sont :

- Transformation de tôle.
- Traitement et revêtement de surface (peinture, plastification).
- Injection plastique et polystyrène.
- Fabrication de pièces mécanique (condenseur, évaporateur...).
- Isolation.
- Thermoformage.
- Assemblage.

4.3 L'unité cuisson (U. CUIS).

Cette unité est spécialisée dans la production de différents types de cuisinières et ses activités sont :

- Transformation de tôle.
- Traitement et revêtement de surface (émailage, zingage, chromage).

- Assemblage des cuisinières.

4.4 L'unité climatisation (U.C.L).

Comme son nom l'indique, elle est spécialisée dans la fabrication et montage de plusieurs types de climatiseurs. Ses activités :

- Transformation de tôle.
- Traitement et revêtement de surface (peinture).
- Assemblage de climatiseurs.

En plus de ces activités de réalisation, les unités de production (froid, cuisson et climatisation) assurent, en leurs seins respectives, les activités suivantes :

- Etudes /méthodes de fabrication.
- Achats.
- Contrôle (réception, en cours de fabrication, final).
- Stock (magasin, atelier).
- Maintenance.
- Sécurité industrielle.

4.5 L'unité prestation technique (U.P.T).

C'est une unité de soutien aux autres unités de production, elle est chargée de la gestion :

- Des énergies et fluides
- De l'entretien des équipements.
- Des engins roulants.
- De l'entretien des bâtiments.
- De fonction informatique au sein du complexe appareil ménager.

4.6 L'unité commerciale (U.C).

Elle est chargée de la commercialisation des produits de l'entreprise, de la gestion du réseau et du service après ventes. Sa mission est l'étude du marché national et l'écoulement de tous les produits des unités de production.

Activités :

- Marketing.

4.7 L'unité sanitaire (U.S).

L'unité sanitaire de Miliana est acquise par l'entreprise ENIEM en l'an 2000. Elle n'entre pas dans le champ de certification de l'entreprise. La mission globale de l'unité est de produire et développer les produits sanitaires (baignoires, lavabos ...).

4.8 La filiale FILAMP.

L'Unité Lampes de Mohammedia (ULM) qui a démarré en février 1979 pour fabriquer des lampes d'éclairage domestique ainsi que des lampes de réfrigérateurs est devenue filiale à 100% ENIEM le 01/01/1997. Cette filiale est dénommée « FILAMP ».

6. Politique de l'entreprise ENIEM

L'ENIEM est certifiée ISO 14001/2004 ENVIRONNEMENT et ISO 9001/2008 QUALITÉ.

5.1 Politique qualité :

La satisfaction durable du client constitue l'objectif principal de l'ENIEM, cette dernière a mis en œuvre et développer un système de management de qualité conforme au référentiel international ISO 9001/2008.

Cette politique de qualité basée sur l'amélioration continue des processus se manifeste par la volonté de la Direction Générale à :

- Comprendre les besoins présents et futures de ses clients et y répondre efficacement en mettant à leur disposition des produits et des services compétitifs.
- Développer le professionnalisme de personnel de l'entreprise et sa culture.
- Améliorer en continu, l'efficacité de système management de la qualité.

5.2 Politique environnementale de l'ENIEM :

La dimension environnementale est de nos jours une question d'actualité. Elle intéresse la plupart des organismes notamment les entreprises industrielles lesquelles ont un impact environnemental préoccupant (rejets atmosphériques, déchets liquides et solides, etc.).

La mise en place d'un système de management environnemental s'avère une voie royale pour réduire et maîtriser ces impacts. La certification environnementale de type ISO 14001 est le modèle de référence pour l'application du système de management environnemental (SME).

L'ENIEM se base sur la prévention de toute pollution, la préservation des ressources, la sensibilisation et la formation, la responsabilisation et l'implication de son personnel.

Pour cela, elle a décidé de s'engager dans une démarche volontaire d'amélioration continue, en mettant en place un système de management environnemental, selon le référentiel ISO 14001/2004 Cette politique environnementale de l'ENIEM s'inscrit dans le développement durable en intégrant un management proactif dans le domaine de la protection de l'environnement et la direction générale met à disposition, les moyens nécessaires pour la réussite de ce projet Dans le but de mettre en œuvre la politique de l'ENIEM, la Direction Générale s'engage à :

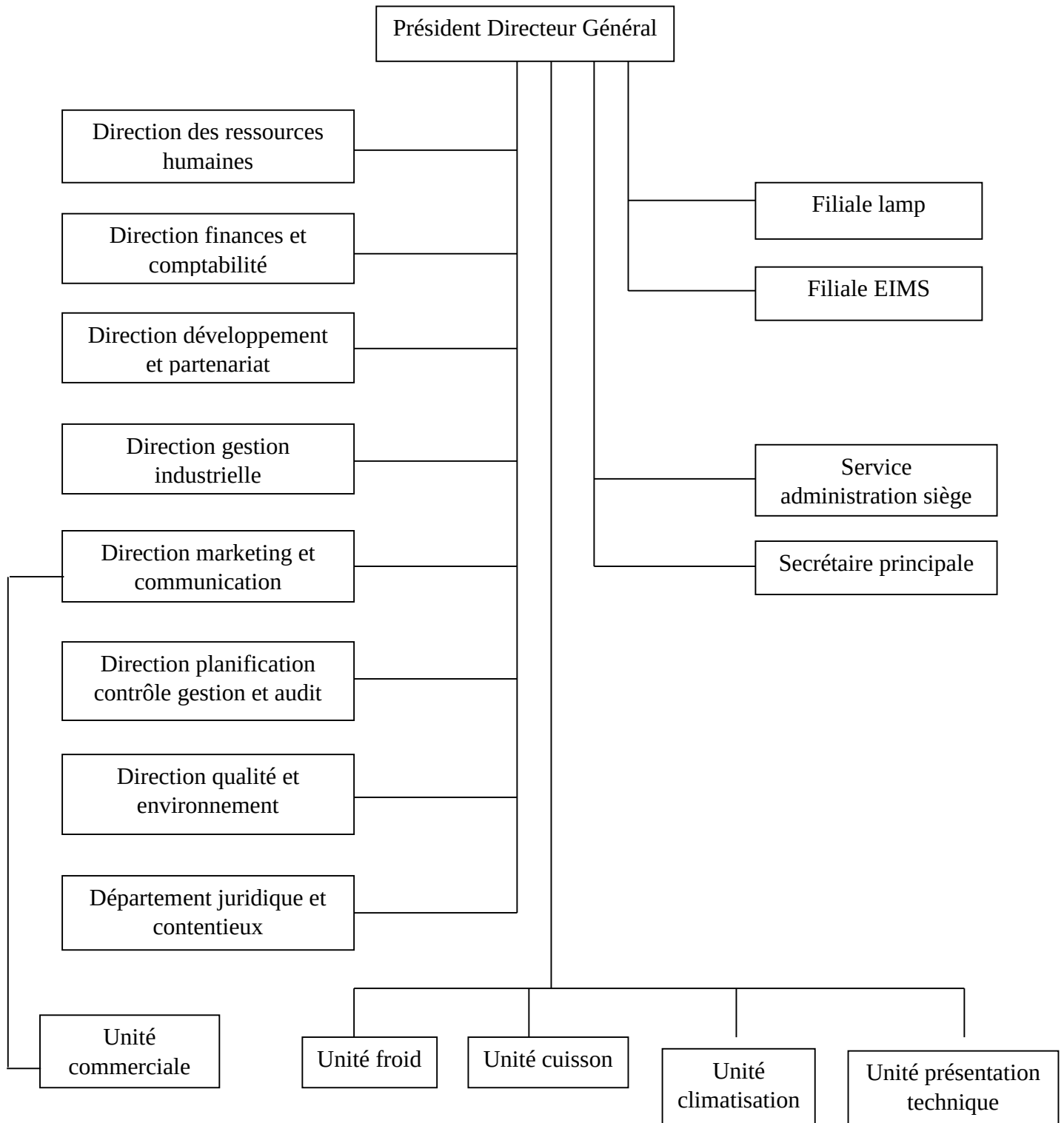
- Fournir les ressources nécessaires pour atteindre ses objectifs.
- Appliquer et respecter les dispositions et procédures établies.
- Se conformer aux exigences légales et réglementaires, en vigueur.

7. L'objectif de la direction

Afin de réussir ses missions précitées, l'ENIEM se fixe les objectifs suivants :

- Accroître la satisfaction des clients et réduire les rebuts.
- Améliorer les compétences du personnel.
- Augmenter la valeur de la production et améliorer le chiffre d'affaires.

Organigramme de l'entreprise :



Chapitre I :

GENERALITES SUR LES MATERIAUX

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES MATERIAUX

I.1 Introduction:

Un matériau représente la version commercialisée d'une matière première (d'origine naturelle ou artificielle), spécifiquement choisie en raison de ses propriétés adaptées à des utilisations particulières. Il est transformé à l'aide de techniques appropriées pour créer un objet ayant une géométrie précise et une fonction prédéterminée.

Les objets omniprésents dans notre quotidien sont fabriqués à partir de matières soigneusement sélectionnées pour une bonne adaptation à l'usage final de la pièce.

Pour optimiser les performances d'un matériau, il est crucial de prendre compte de plusieurs paramètres, tels que : la résistance, la dureté, la ténacité et l'usure. C'est pourquoi les ingénieurs sélectionnent minutieusement chaque matériau, s'assurant qu'il possède les propriétés requises pour répondre aux exigences de la pièce. [1]

I.2 Méthodes de sélection des matériaux :

Sélectionner le matériau approprié constitue une étape essentielle lors de la création d'un produit. Cette sélection doit répondre aux critères imposés par le cahier des charges fonctionnelles. [2]

Plusieurs catégories de critères doivent être pris en compte pour désigner le matériau adéquat :

- Critères mécaniques : Élasticité, Plasticité, Ténacité, Dureté, Résistance à l'usure, Tenue à la fatigue, etc.
- Critères physico-chimiques : Stabilité chimique, Conductivité thermique, Réactivité, etc.
- Critères de mise en œuvre : Facilité de manipulation, Malléabilité, etc.
- Critères de sécurité : Englobe un ensemble de propriétés et de comportements qui visent à garantir l'absence de risques lors de son utilisation.

I.3 Classification des matériaux:

En fonction de leur origine et de leurs caractéristiques, les matériaux sont classés en plusieurs catégories.

Il existe plusieurs façons de classer les matériaux, mais l'une des plus courantes est de les diviser en quatre grandes classes :

I.3.1 Les polymères:

Un polymère est une macromolécule, formé d'unités monomères liées entre elles par des liaisons covalentes. Le terme polymère est utilisé depuis un peu plus de 100 ans mais les polymères naturels existent depuis toujours : les protéines, la cellulose (bois, coton) ou encore l'ADN [2]

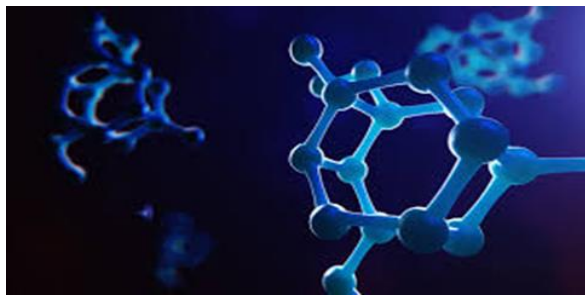


Figure I. 1: Les polymères

Exemples :

- Les thermoplastiques
- Les thermodurcissables
- Les élastomères

I.3.2 Les céramiques:

Le mot céramique vient d'origine grecque “keramos” ce qui signifie “argile”. Les céramiques sont des matériaux très durs, très rigides ; D'une part, ils résistent à la chaleur, à l'usure, aux agents chimiques et à la corrosion, mais en contrepartie, ils sont fragiles. [2]

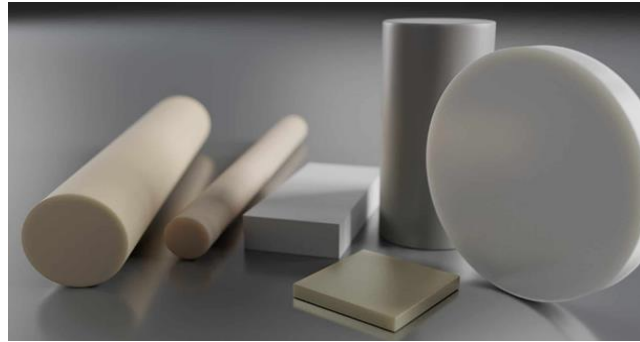


Figure I. 2: Les céramiques

Exemples :

- Les céramiques traditionnelles
- Les céramiques techniques

I.3.3 Les composites:

Les composites sont tout simplement une association de deux ou plus de constituants aux propriétés physiques ou chimiques distinctes. Les deux principaux composants d'un composite sont : un matériau de base (matrice ou liant) renforcé par des fibres (ou agrégats d'un autre matériau).

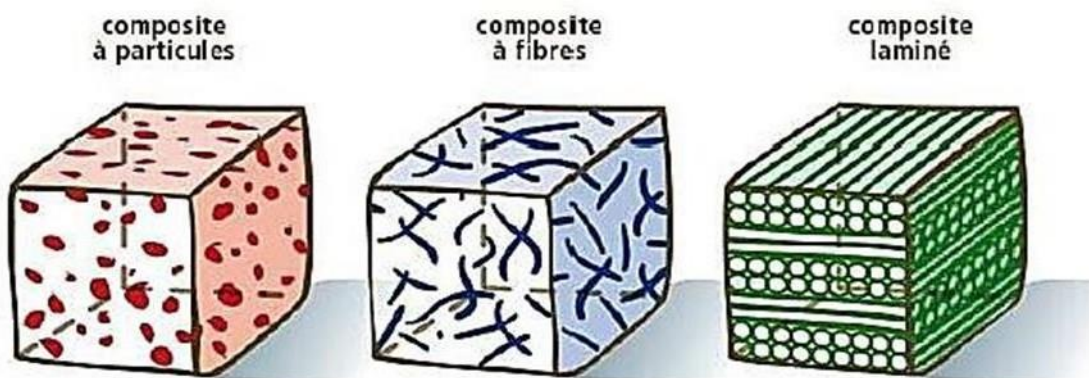


Figure I. 3 : Différents types de composite.

En renfort, on utilise la fibre de verre, la fibre de carbone et enfin les fibres organiques (kevlar).

I.3.4 Les matériaux métalliques:

Les métaux sont des matériaux constitués d'atomes liés par des liaisons métalliques. Ils sont généralement durs et résistants, opaques, brillants, malléables et bons conducteurs de la chaleur et de l'électricité.

Les métaux purs sont composés d'un seul élément chimique. [2]

I.3.4.1 Aluminium (Al):

L'aluminium est le troisième élément le plus présent dans la croûte terrestre (environ 8%). On le trouve principalement dans les roches sous forme de silicates (composés de silicium, oxygène et aluminium).

Dans certaines régions, l'usure par l'eau a enrichi des roches en aluminium, formant la bauxite (minerai d'aluminium). L'aluminium métallique est extrait de la bauxite par un procédé appelé électrolyse.

L'aluminium est un matériau léger, résistant à la corrosion et malléable. Largement utilisé dans l'aéronautique, l'automobile, le bâtiment et l'emballage. [3]

➤ Production de l'aluminium :

L'aluminium est produit aujourd'hui dans le monde par le procédé appelé Hall-Héroult, qui consiste essentiellement à la dissolution de l'alumine (Al_2O_3), extraite de la bauxite, dans un bain électrolytique. Ce bain autrefois constitué de cryolithe pure, il s'agit aujourd'hui d'une solution artificielle de cryolithe, de fluorures d'aluminium et de calcium.

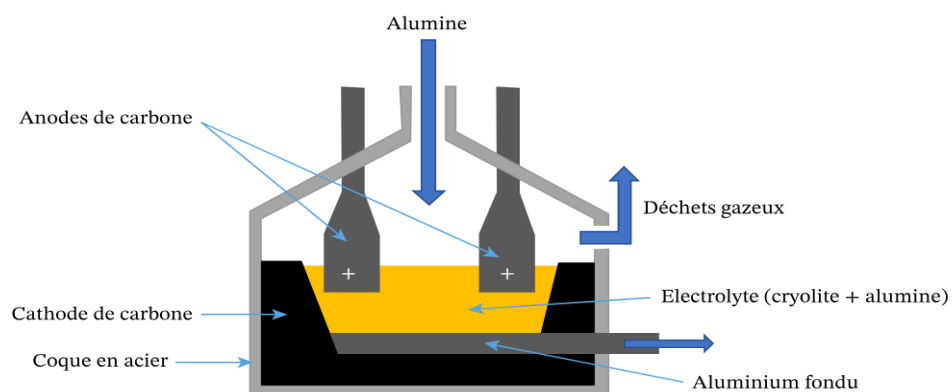


Figure I. 4 : Production de l'aluminium

Ensuite on plonge légèrement sous la surface du bain des anodes en carbone qui servent à faire passer un courant électrique continu de plusieurs centaines de milliers d'ampères (typiquement 400 000 ampères aujourd'hui). Sous l'effet du courant électrique, des réactions chimiques se produisent. Aux anodes, l'oxygène de l'alumine est libéré sous forme de gaz, tandis qu'aux cathodes, les ions d'aluminium se transforment en métal aluminium pur, qui se dépose au fond de la cuve.

Enfin l'aluminium liquide, plus léger que le bain électrolytique, est périodiquement siphonné et refroidi pour se solidifier. [4]

I.3.4.2 Cuivre (Cu):

Le cuivre, extrait de son minerai, est purifié par deux procédés principaux :



Figure I. 5: Cuivre (Cu)

➤ **Affinage thermique :**

L'affinage thermique du cuivre exploite la différence d'affinité entre l'oxygène et les impuretés présentes dans le métal. Ce procédé, historiquement important, s'effectue dans un four à réverbère en présence d'oxygène.

Le principe est de faire fondre du cuivre brut à haute température, favorisant ainsi la réaction entre l'oxygène et les impuretés présentes. Pour séparer les impuretés du cuivre il existe deux mécanismes principaux

➤ **Volatilisation :** Les oxydes de zinc, d'arsenic et d'antimoine, plus légers que le cuivre, s'échappent sous forme de gaz, s'évacuant ainsi du bain de fusion.

➤ **Scorification :**

Les éléments tels que le béryllium, le fer, le nickel, le cobalt, l'étain et le plomb réagissent avec l'oxygène pour former des scories, des composés non-métalliques qui, moins denses que le cuivre, remontent à la surface du bain et peuvent être séparés.

Une partie du cuivre s'oxyde inévitablement en Cu_2O lors de l'étape d'oxydation. Pour récupérer ce cuivre, on pratique le "perchage" : des troncs d'arbres verts sont introduits dans le bain de fusion. Le carbone présent dans le bois agit comme un réducteur, transformant l'oxyde de cuivre (Cu_2O) en cuivre métallique (Cu).

Ce procédé, bien que traditionnel, présente des limitations en termes de pureté du cuivre final et a été supplanté par des méthodes plus modernes comme l'affinage électrolytique.

➤ **Affinage électrolytique :**

Ce procédé, pilier du raffinage du cuivre, permet d'éliminer les impuretés du "blister" issu des minerais sulfurés, riche en cuivre à 98-99,5%. Ce blister, moulé en anodes, est dissous par électrolyse. Le cuivre purifié se dépose sur les cathodes, tandis que la plupart des impuretés (zinc, fer, nickel, cobalt, étain, plomb) restent dans le bain. D'autres éléments précieux comme l'argent, l'or et le platine, insolubles dans l'électrolyte, s'accumulent dans les boues. Enfin, certaines impuretés (arsenic, antimoine, bismuth) se déposent avec le cuivre sur les cathodes et devront être éliminées ultérieurement.

Si ces cathodes peuvent être directement utilisées en fonderie, elles ne conviennent ni au laminage ni au filage à cause de leur porosité.

En résumé, ce processus d'électrolyse permet :

- D'éliminer la plupart des impuretés du cuivre brut.
- De récupérer des métaux précieux comme l'or et l'argent.
- D'obtenir du cuivre de haute pureté, utilisable dans de nombreuses applications.

Cependant, le cuivre obtenu n'est pas encore prêt pour le laminage ou le filage à cause de sa porosité. Il devra subir des étapes ultérieures de traitement pour éliminer ces défauts.

Que ce soit par affinage thermique ou électrolytique, les lingots et les cathodes obtenus doivent subir une refonte pour obtenir des ébauches utilisables dans la transformation du cuivre. Cette étape de refusion, si elle n'est pas réalisée avec précaution, peut entraîner la dissolution de petites quantités d'oxygène dans le métal liquide. Cet oxygène peut être souhaitable ou non, selon l'application finale du cuivre.

Pour obtenir du cuivre sans oxygène, deux options existent :

- Ajout d'un désoxydant pendant la refonte.
- Mise en place d'une protection efficace contre l'oxygène lorsque le métal est liquide.

On distingue ainsi trois nuances de cuivre suivant la présence ou non d'oxygène et son procédé d'élimination :

- Le cuivre contenant de l'oxygène : Cette catégorie regroupe les cuivres avec une teneur en oxygène variable. Ils sont généralement produits par électrolyse et présentent une conductivité électrique légèrement inférieure aux autres types de cuivre.
- Le cuivre désoxydé avec désoxydant résiduel : Dans ce cas, l'oxygène est éliminé du cuivre par l'ajout d'un désoxydant, comme le phosphore, qui reste ensuite présent en faible quantité dans le métal final. Ce type de cuivre offre une meilleure conductivité électrique et une meilleure ductilité que le cuivre contenant de l'oxygène.
- Le cuivre exempt d'oxygène ou désoxydé sans désoxydant résiduel : Cette nuance de cuivre la plus pure est obtenue par un processus de désoxydation poussé, éliminant quasiment tout l'oxygène du métal. Elle présente la conductivité électrique la plus élevée de toutes les nuances de cuivre, ainsi qu'une excellente ductilité et une grande résistance à la corrosion.

La classification des nuances de cuivre repose sur la teneur en oxygène et le procédé de désoxydation utilisé. Le cuivre exempt d'oxygène est le plus pur et offre les meilleures propriétés, tandis que le cuivre contenant de l'oxygène est le moins cher. [3]

I.3.4.3 Fer (Fe):

Le fer est un métal qui présente un comportement fascinant à l'état pur. Sa structure cristalline se métamorphose en fonction de la température, dévoilant trois formes distinctes :



Figure I. 6: Fer (Fe)

- Fer α (cubique centré) : stable en dessous de 912 °C, structure compacte et ordonnée, propriétés magnétiques ferromagnétiques (attirant les aimants) avec une dureté et résistance accrues.
- Fer γ (cubique à faces centrées) : existant entre 912 °C et 1 394 °C, structure plus ouverte et flexible, perte des propriétés magnétiques ferromagnétiques avec une ductilité et malléabilité améliorées, permettant un façonnage plus aisé.
- Fer δ (cubique centré) : se formant entre 1 394 °C et la température de fusion (1 538 °C), structure semblable au fer α , mais avec une énergie interne plus élevée avec des propriétés mécaniques similaires au fer γ .

Les alliages de fer, dont les aciers et les fontes, constituent une famille de matériaux métalliques incontournables dans l'industrie moderne. Ils combinent un coût relativement abordable avec des performances mécaniques remarquables, répondant ainsi à une large palette d'exigences.

Un alliage est un matériau métallique issu du mélange d'un métal, appelé métal de base, avec un ou plusieurs autres éléments chimiques. Ce mélange vise à obtenir des propriétés spécifiques que le métal de base ne possède pas seul. [5]

- Fonte
- Acier

I.3.4.4 Les fontes

La fonte est un alliage à base de fer et de carbone, dont la teneur en carbone est supérieure à 2%, une teneur suffisante pour que la fusion et la solidification se produisent dans un intervalle de température nettement plus bas que le point de fusion et de solidification du fer.



Figure I. 7 : La fonte

La fonte contient environne 3 à 4% de carbone et 92% de fer et d'autres éléments tels que (silicium, manganèse, soufre, cuivre, phosphore, magnésium...), on peut considérer les fontes comme un acier contenant un excès de carbone sous forme de cémentite (fonte blanche) ou de graphite (fonte grise). [6]

➤ **Différents types de fontes**

a. La fonte grise :

Ces alliages sont peut-être plus connus sous le nom de fontes « ordinaires » car ce sont les plus anciennement utilisées en construction mécanique, en architecture métallique, chauffage domestique et industriel, équipement de voirie. Aujourd'hui encore, elles ont une place répondante en fonderie. [3]

b. Fontes blanches :

Les fontes blanches présentent un aspect blanc à la cassure. Le carbone qu'elles contiennent est combiné au fer sous forme de carbure (cémentite). Contrairement aux fontes grises, elles sont obtenues à partir de minerais de fer pauvres en silicium mais riche en manganèse. Les fontes blanches sont très dures et cassantes et se prêtent mal au moulage. Elles servent surtout de matière première pour la fabrication de l'acier par décarburation dans des fours spéciaux [7]

c. Fontes malléables :

Les fontes malléables présentent une ductilité et une résistance mécanique élevées, un peu comme les aciers non alliés à faible teneur en carbone. [7]

I.3.4.5 Les aciers:

L'acier est un alliage métallique composé majoritairement de fer et d'une faible quantité de carbone. Sa composition et ses propriétés varient en fonction de la teneur en carbone et de l'ajout d'autres éléments. Les aciers sont classés en quatre grandes catégories : aciers au carbone, aciers alliés, aciers inoxydables et aciers à outils. Chacune de ces catégories présente des caractéristiques et des applications spécifiques. [1]

a. Aciers au carbone :

Les aciers au carbone sont les plus simples et les plus économiques. Ils se composent essentiellement de fer et de carbone, avec une teneur en carbone généralement comprise entre 0,05 % et 1,5 %. On les distingue en trois sous-catégories : [3]

- Aciers à bas carbone (0,05 % à 0,30 % de carbone) : Doux et malléables, ils sont faciles à usiner et à souder. On les utilise pour la construction de bâtiments, de machines et d'appareils électroménagers.
- Aciers à carbone moyen (0,30 % à 0,60 % de carbone) : Plus résistants et plus durs que les aciers à bas carbone, ils sont utilisés pour la fabrication de pièces mécaniques, d'outils et d'armes.
- Aciers à haute teneur en carbone (0,60 % à 1,5 % de carbone) : Très durs et résistants, ils sont utilisés pour la fabrication d'outils de coupe, de matrices et de ressorts.

b. Aciers alliés :

Les aciers alliés sont des aciers au carbone auxquels on a ajouté d'autres éléments, tels que le chrome, le manganèse, le nickel, le vanadium ou le molybdène. Ces éléments améliorent les propriétés de l'acier, telles que sa résistance à la corrosion, sa résistance à la traction, sa dureté et sa trempabilité. On les distingue en plusieurs sous-catégories : [3]

- Aciers à faible alliage : Ils contiennent de petites quantités d'éléments d'alliage (moins de 2 %). Ils sont plus résistants et plus durs que les aciers au carbone, mais moins que les aciers à haute teneur en alliage. On les utilise pour la fabrication de pièces mécaniques, de structures et de véhicules.
- Aciers à haute teneur en alliage : Ils contiennent de grandes quantités d'éléments d'alliage (plus de 2 %). Ils sont très résistants, durs et résistants à la corrosion. On les utilise pour la fabrication d'outils de coupe, de pièces d'aérospace et d'équipements industriels.

c. Aciers inoxydables

Les aciers inoxydables sont des aciers alliés qui contiennent au moins 10,5 % de chrome. Le chrome forme une couche protectrice d'oxyde qui empêche l'acier de rouiller. Les aciers inoxydables sont très résistants à la corrosion et sont utilisés dans une grande variété

d'applications, notamment dans l'alimentation, la médecine, la construction et l'aérospatiale. On les distingue en plusieurs sous-catégories : **[3]**

- Aciers inoxydables austénitiques : Ils contiennent du nickel et du manganèse, ce qui les rend non magnétiques et très ductiles. Ils sont les plus courants des aciers inoxydables et sont utilisés dans une grande variété d'applications.
- Aciers inoxydables ferritiques : Ils ne contiennent pas de nickel, ce qui les rend magnétiques et moins ductiles que les aciers inoxydables austénitiques. Ils sont plus résistants à la corrosion que les aciers inoxydables austénitiques et sont utilisés dans des applications où la ductilité n'est pas essentielle.
- Aciers inoxydables martensitiques : Ils peuvent être durcis par traitement thermique. Ils sont utilisés dans des applications où la résistance et la dureté sont importantes.

d. Aciers à outils

Les aciers à outils sont des aciers alliés conçus pour la fabrication d'outils de coupe et d'autres outils. Ils sont très durs et résistants à l'usure. On les distingue en plusieurs sous-catégories : **[3]**

- Aciers à outils à base de tungstène : Ils contiennent du tungstène, ce qui les rend très durs et résistants à l'usure. On les utilise pour la fabrication de fraises, de forets et d'autres outils de coupe.
- Aciers à outils à base de molybdène : Ils contiennent du molybdène, ce qui les rend résistants à la chaleur et à l'usure. On les utilise pour la fabrication d'outils

I.4 Traitements thermiques des aciers:

Les traitements thermiques visent à modifier les propriétés des aciers en les soumettant à des cycles thermiques contrôlés. **[1]**

Ces traitements thermiques ont pour objectif :

- Augmenter la dureté de l'acier, il devient plus résistant à la déformation permanente et à l'usure.
- Augmenter la résistance à la rupture et la limite élastique R_m , R_e , $A\%$ (donnant une meilleure tenue de l'élément).

- Affiner le grain et améliorer la ductilité (un grain plus fin rend l'acier plus malléable et ductile).
- Homogénéiser la microstructure (en éliminant les hétérogénéités et en répartissant uniformément les éléments d'alliage).

Plusieurs types de traitements thermiques naissent suivant la variation de la température du chauffage et celle du refroidissement.

a. La trempe :

C'est un procédé qui vise à augmenter la dureté d'une pièce. Ça consiste à chauffer la pièce à une température de $727+50^\circ$ et plus, ensuite on lui fait subir un refroidissement rapide, suivant le cycle suivant : [8]

- Un chauffage dans le domaine austénitique.
- Un maintien suffisamment lent afin de permettre la dissolution partielle.
- Un refroidissement effectué à une température dite : température de trempe.

La trempe est souvent la première étape d'un traitement comportant un ou plusieurs revenus.

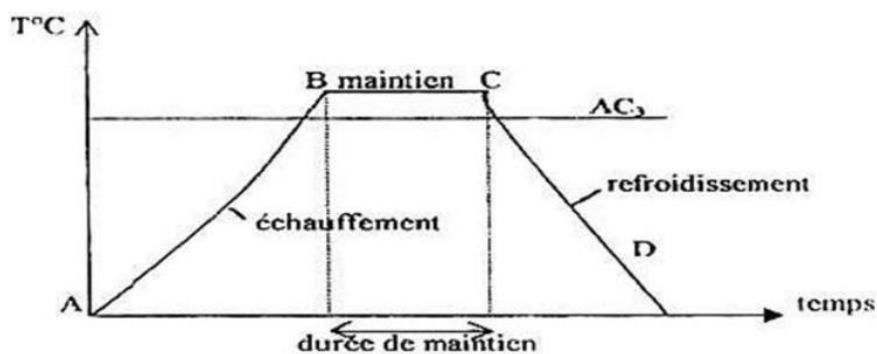


Figure I. 8: La trempe

b. Le revenu :

Généralement appliqué après la trempe, le revenu est un traitement thermique utilisé pour améliorer la ductilité et la ténacité des métaux. Il comporte trois (03) étapes : [2]

- Chauffage à une température comprise entre 180°C et A_{C1} .
- Maintien à cette température pendant deux (02) heures.
- Refroidissement moyennement lent par immersion dans l'huile.

T ($^\circ\text{C}$)	100	200	300	400
Dureté HRC	63	62	60	58

c. Cémentation : (920 à 950°C)

Ce procédé consiste à enrichir la surface d'un objet métallique en carbone en le chauffant à une température supérieure à la température critique Ac_1 en présence d'un milieu pulvérulent, pâteux, liquide ou gazeux. Ce processus est souvent suivi d'une trempe pour durcir davantage la surface.

L'objectif principal de la cémentation est d'obtenir une surface dure et résistante à l'usure. L'enrichissement de la couche superficielle en carbone jusqu'à une teneur de 0,8 à 1,2% augmente considérablement sa dureté et sa résistance à l'abrasion.

La cémentation est couramment utilisée pour traiter les pièces mécaniques soumises à des frottements et à des usures importantes, telles que les engrenages, les arbres à cames, les roulements et les outils de coupe.

d. Nitruration : (500 à 570 °C)

La nitruration est un traitement thermochimique qui consiste à enrichir la surface d'un objet métallique en azote en le chauffant dans une atmosphère d'ammoniac à une température comprise entre 500 et 570°C. Ce processus permet d'augmenter considérablement la dureté, la résistance à l'usure, la limite de fatigue et la résistance à la corrosion de la surface traitée. [1]

e. Cyanuration et carbonitruration : (730 à 830°C)

C'est une saturation simultanée de la surface de l'acier en carbone et en azote. Ce traitement prévoit surtout l'augmentation de la dureté et de la tenue à l'usure. [1]

I.5 Conclusion:

Dans ce chapitre on s'est penché sur les matériaux utilisés dans la conception, soulignant leurs propriétés caractéristiques qui les différencient. Parmi ces propriétés, les plus importantes sont les propriétés chimiques et mécaniques.

On en a aussi parlé de l'acier, qui se décline en une multitude de types, chacun présentant des caractéristiques propres et répondant à des besoins spécifiques. La sélection du matériau pour la réalisation de l'outil est liée aux contraintes de fabrication et aux exigences fonctionnelles. En effet le choix adéquat du matériau permet d'optimiser la qualité et la dureté des différents éléments constitutifs de l'outil. Pour ce faire, il est indispensable de soumettre le matériau à des traitements thermiques spécifiques.

Chapitre II :
PROCEDES DE MISE EN
FORME DES PIECES
MECANIQUES PAR
DEFORMATION

CHAPITRE II : PROCÉDES DE MISE EN FORME DES PIÈCES MÉCANIQUES PAR DÉFORMATION

II.1 INTRODUCTION

Les procédés de mise en forme des pièces mécaniques par déformation sont des techniques essentielles dans le domaine de la fabrication industrielle. Ces procédés permettent de transformer des matériaux plats, tels que les tôles métalliques, en une grande variété de formes et de dimensions, répondant ainsi aux besoins spécifiques de diverses industries telles que l'automobile, l'aérospatiale, l'électronique, la construction, entre autres.

La déformation des pièces mécaniques implique des changements permanents de forme et de géométrie du matériau, réalisés par l'application de forces externes. Cette transformation peut se faire de manière à la fois simple et complexe, selon les exigences de conception des pièces finales.

II.2 Définition du formage

Le formage des tôles est une opération qui assure la fabrication des pièces en production de grande série à faible coût, rapportés à la qualité des pièces finales obtenues. Les procédés de mise en forme restent la forme la plus économique d'obtention des produits par déformation plastique des métaux. Aux cours du formage, les pièces subissent des variations dimensionnelles ou des caractéristiques fonctionnelles qui peuvent affecter, d'une manière considérable leur qualité finale. On distingue trois types principaux de mise en forme après avoir découpé la tôle des bobines sous forme de flan :

- Emboutissage.
- Poinçonnage et détournage.
- Pliage.

Le formage des métaux intègre un grand nombre de procédés dans lesquels la déformation plastique est utilisée pour changer la forme de la pièce à fabriquer. La déformation est obtenue par un outil appelé « matrice », qui applique des contraintes au-delà de la limite élastique du métal. Le métal est déformé pour prendre la forme déterminée par la géométrie de la matrice.

Les contraintes appliquées pour déformer plastiquement les métaux sont généralement des contraintes de compression. Elles sont classées en deux catégories :

II.3 Le travail des métaux à l'état massif

II.3.1 Formage par compression:

II.3.1.1 Laminage:

Le laminage est un procédé de fabrication par déformation plastique. Il concerne différents matériaux, comme le métal ou tout autre matériau sous forme pâteuse, comme le papier ou les pâtes alimentaires. Cette déformation, est obtenue par compression continue au passage entre deux cylindres, tournant dans deux sens opposés appelés laminoirs, à l'aide des rouleaux d'amenée du lingot (Figure). Il existe aussi des opérations de laminage particulières utilisant plus de deux laminoirs.

Un laminoir est un outil industriel, ayant pour but la réduction d'épaisseur d'un matériau. Il permet également la production de barres profilées (produits longs). Il existe de nombreux types de laminoirs, on peut citer :

- laminoir à produits plats
- laminoirs industriels pour les métaux
- laminoir à papier

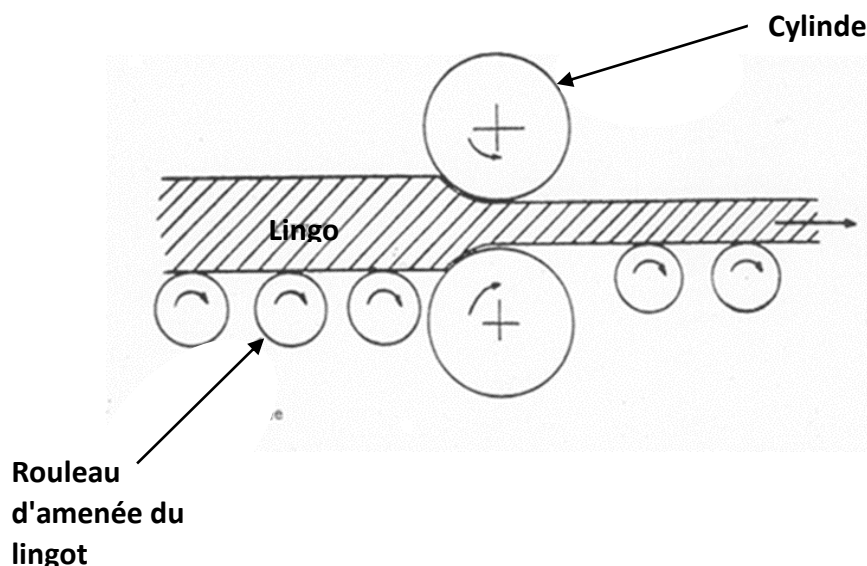


Figure II. 1: Principe du laminage

- **Types de laminage :**

- a. Laminage à chaud :**

Le laminage à chaud s'impose pour deux raisons capitales [Bataille, 2003] et [Montmitonnet ,2002] : la première est que la résistance à chaud du métal décroît très rapidement avec la température. La seconde est d'ordre métallurgique. Le laminage à froid provoque un écrouissage du métal. Le laminage ne peut se poursuivre au-delà de la limite de rupture, par ailleurs l'écrouissage peut entraîner un dépassement des capacités de puissance du système de laminage à froid.

En pratique, les premières séries de réductions commencent à chaud afin d'atteindre facilement de fortes déformations du matériau et d'ajuster les propriétés métallurgiques du produit. Le passage à froid est ensuite nécessaire pour obtenir les caractéristiques

Géométriques et mécaniques adéquates, ainsi qu'un bon état de surface.

Les cages des laminoirs sont généralement « quarto », composées de deux cylindres de travail de faible diamètre (de l'ordre de 10 cm), assurant le laminage, et de deux cylindres d'appui de diamètre plus grand, comme schématisé sur la (Figure). Différents actionneurs de la cage (vis de serrage, vérins, etc.) permettent de régler l'épaisseur correcte en sortie

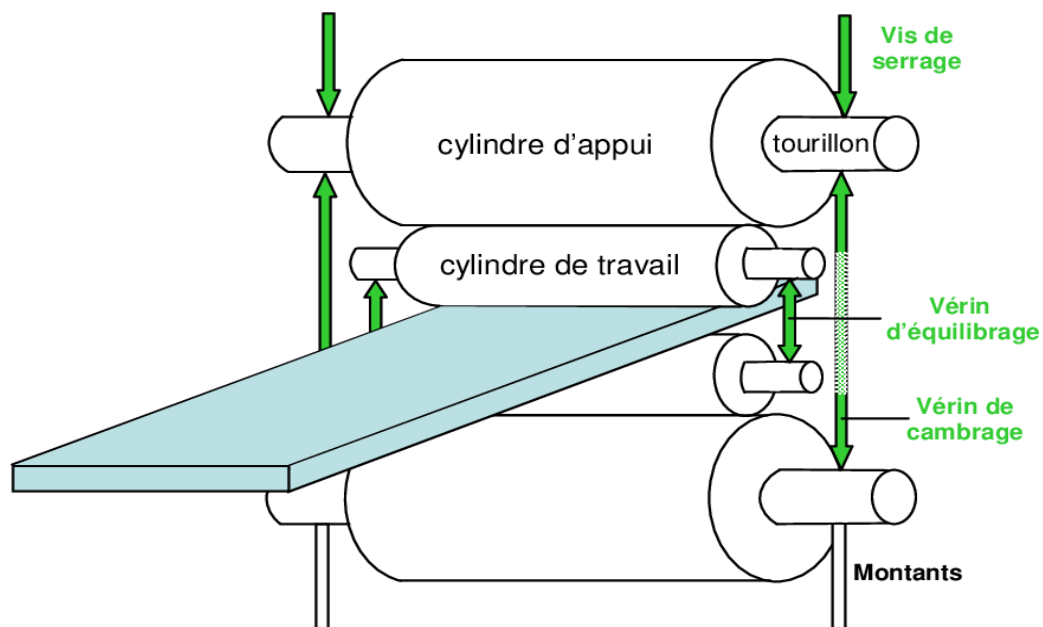


Figure II. 2: Schéma d'une cage quarto de laminage

b. Laminage à froid

Le laminage à froid est généralement réalisé sur laminoirs réversibles multicylindres, où plusieurs cages se succèdent, on parlera d'un train de laminage (figure I.18). Deux bobineuses sont disposées de chaque côté des cages pour assurer la traction et contre-traction de la bande.

Le laminage s'effectue sous film d'huile minérale afin de faciliter l'écoulement du métal, éliminer la chaleur produite par le laminage et lubrifier les équipements internes de la cage de laminage.

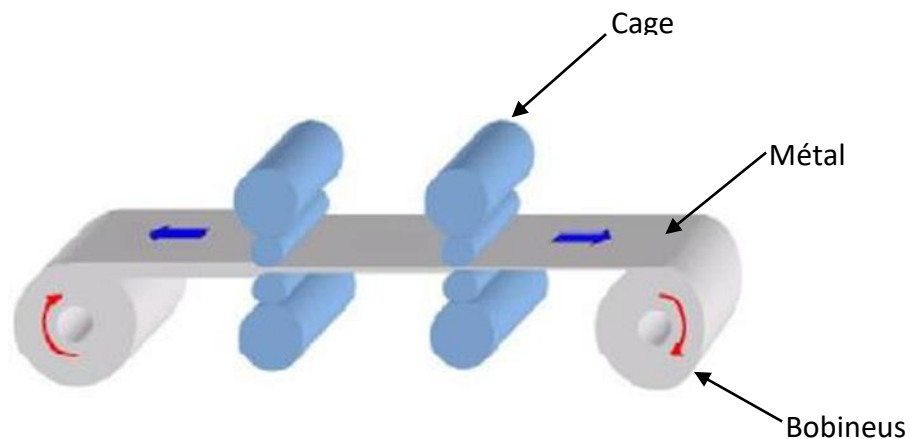


Figure II. 3: Train de laminage

Le laminage à froid n'est nécessaire généralement que pour obtenir des tolérances serrées, et un bon état de surface. D'un point de vue pratique, la différence entre le procédé à chaud et le procédé à froid tient donc surtout à la différence des géométries des produits qu'ils traitent. En l'occurrence, plus épais pour les laminages à chaud et plus minces pour les laminages à froid. [5]

II.3.1.2 Forgeage :

Le forgeage concerne l'ensemble des méthodes de mise en forme des matériaux par chocs ou par pression des métaux, à chaud ou à froid, afin de produire des pièces semi-finies de formes et dimensions choisies.

Le forgeage regroupe plusieurs techniques, telles que le forgeage libre, le forgeage à froid (ou par extrusion), le forgeage par estampage, le forgeage par matriçage, et enfin le forgeage par laminage.

- **Types de forgeage :**

- a. Forgeage libre :**

Le forgeage libre est la plus ancienne technique : il s'effectue à chaud soit manuellement, en frappant le métal posé sur une enclume avec un marteau ou un pilon, soit avec l'aide d'une presse hydraulique puissante. Ainsi, on obtient des ébauches ou des pièces mécaniques brutes, prêtes à être usinées, et dont la résistance est améliorée grâce au processus de forgeage. C'est une technique qui permet de produire des petites séries ou des pièces à l'unité car elle requiert peu d'outils.

- b. Forgeage à froid ou par extrusion :**

Le forgeage à froid est un procédé de déformation des métaux à froid, comme son nom l'indique. C'est la technique de forgeage la plus récente. L'extrusion à froid fait partie des procédés de forgeage à froid.

- c. Forgeage par estampage :**

Il consiste à chauffer puis presser la pièce brute entre les matrices, qui ont un creux à la forme de la pièce voulue. Cette technique est utilisée pour la production de grandes séries, étant donné qu'il faut des outils spécifiques (matrices qui ont la forme du produit voulu par exemple). La forge par estampage est assez précise par rapport aux autres procédés.

- d. Forgeage par matriçage :**

Le forgeage par matriçage s'apparente au forgeage par estampage (chauffage puis formage), mais concerne les alliages non ferreux, comme les alliages d'aluminium, de cuivre etc.

- e. Forge par laminage :**

La forge par laminage permet d'obtenir des couronnes rectilignes ou profilé, faites de n'importe quel matériau.

II.3.1.3 Matriçage:

Le matriçage est une opération de forge, effectuée à l'aide d'outillages appelés des matrices (demi-matrice supérieure et demi-matrice inférieure). Les matrices portent en creux la forme de la pièce.

La forge par matriçage consiste donc, à former par déformation plastique après chauffage des pièces brutes, réalisées en alliages non ferreux, tels que les alliages d'aluminium, de cuivre, de titane, de nickel, [5]

Le principe du matriçage est illustré dans la figure :

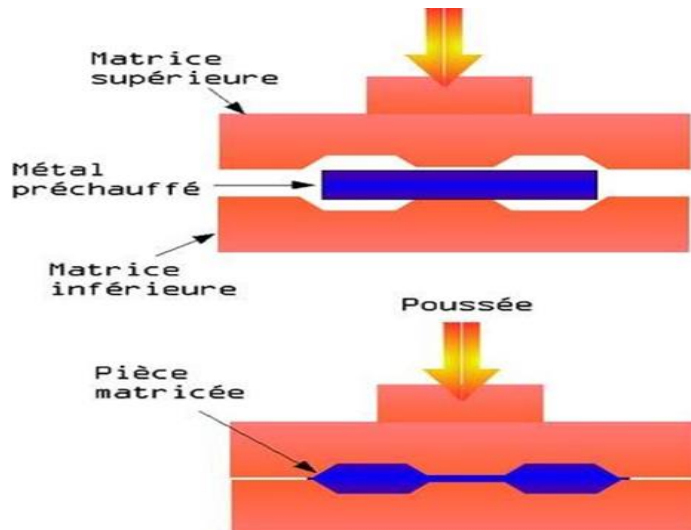


Figure II. 4 : Principe de matriçage

II.4 Travail des métaux en feuille :

II.4.1 L'emboutissage:

L'emboutissage consiste à former un objet creux à partir d'une plaque de tôle préalablement découpée. C'est une opération qui permet d'obtenir des pièces de formes complexes non développables, contrairement aux opérations plus simples que sont le pliage, le roulage ou le profilage à froid. Ce procédé, d'utilisation très générale, permet de fabriquer les pièces de carrosserie automobile, des appareils électroménagers ou des ustensiles de cuisine, des emballages métalliques, des pièces mécaniques. Outre la forme de l'outil, qui dépend de la complexité de la pièce à obtenir de nombreux paramètres conditionnent la réussite de l'opération tels que le : réglages de la presse, vitesse d'emboutissage, lubrification, et ceux liés aux qualités de la tôle elle-même et à sa capacité de formage... [3]

- **Types d'emboutissage :**

Il existe deux types d'outils d'emboutissage : outils à simple effet et à double effet. [2]

a. Outils simple effet :

Configuration la plus simple, composée principalement d'une matrice et d'un poinçon

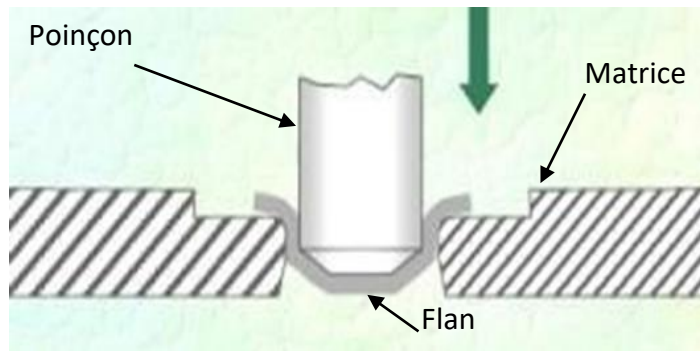


Figure II. 5: outils à simple effet

b. Outils double effet :

Comprend en plus de l'outil simple effet, un serre-flan. Cette technique de formage est la plus répandue dans l'industrie.

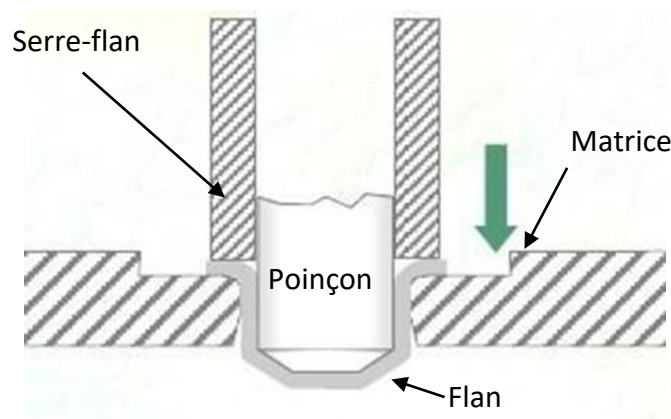


Figure II. 6: outil à double effet

II.4.2 Emboutissage à froid (et à chaud)**II.4.2.1 Emboutissage à froid**

C'est le procédé le plus employé pour la fabrication des pièces en grande série. Cette méthode est applicable sur des tôles à faible épaisseur pour avoir une meilleure précision dimensionnelle.

L'emboutissage à froid suppose, sauf rares exceptions, un outillage double effet et des presses mécaniques. Cette technique est la plus utilisée dans l'industrie automobile car elle comporte des nombreux avantages et inconvénients. [4]

- Avantages

- Meilleure précision dimensionnelle.
- Faible coût.
- Bonnes propriétés mécaniques des pièces embouties.

-Inconvénients

- Faible épaisseur des tôles (risque de rupture).
- Écrouissage du matériau (risque de durcissement structurel et baisse de la ductilité).
- Contraintes résiduelles (risque de rupture par fatigue).
- Remarque 01 : Les matériaux concernés par ce type d'emboutissage sont : Acier doux et inoxydable, aluminium, cuivre, et laiton.

II.4.2.2 L'emboutissage à chaud (200° à 500°)

C'est une technique qui facilite la déformation de la matière et permet l'emboutissage des pièces profondes par chauffage du flan, mais il est moins rapide que l'emboutissage à froid à cause du temps de chauffage. Il est principalement utilisé sur presses hydrauliques simple ou double effet. Cette méthode est applicable lorsque :

- Le métal ou l'alliage ne peut pas se conformer à froid.
- L'épaisseur et la surface de la tôle, exige une force supérieure à celle de la presse dont on dispose.

-Avantages

- Déformation plus facile des matériaux peu ductiles (acier et aluminium).
- Emboutissage de pièces épaisses et profondes par chauffage du flan et de la matrice.
- Peu d'écrouissage ou de contraintes résiduelles.

-Inconvénients

- Cadences de production moins élevées du fait de l'inertie de chauffage
- Pièces finies de moins bonnes qualités (état de surface et dimensionnement)
- Nécessite la mise en place d'un protocole de sécurité plus important

II.4.2.3 Emboutissage multi-passes :

L'emboutissage multi-passes, appelé aussi l'outil à suivre d'emboutissages profond, transforme en plusieurs passes des flancs de forte épaisseur afin d'éviter la rupture mécanique au cours du processus de déformation. La profondeur d'emboutis est largement supérieure à toutes les autres techniques précédentes. Le procédé en multi-passes est souvent nécessaire pour obtenir un meilleur chemin de déformation puis ainsi éviter la striction et plissement. L'un des grands avantages de l'emboutissage multi-passes est de produire à cadence élevée. En outre, cette technique permet dans un même outil à suivre de réaliser des pièces à forte déformation sans augmenter le temps de cycle et sans nécessiter de main d'œuvre supplémentaire. C'est une méthode adaptée à un grand volume de production. Les épaisseurs de pièces embouties peuvent être très faibles (de l'ordre de 0,05 mm).

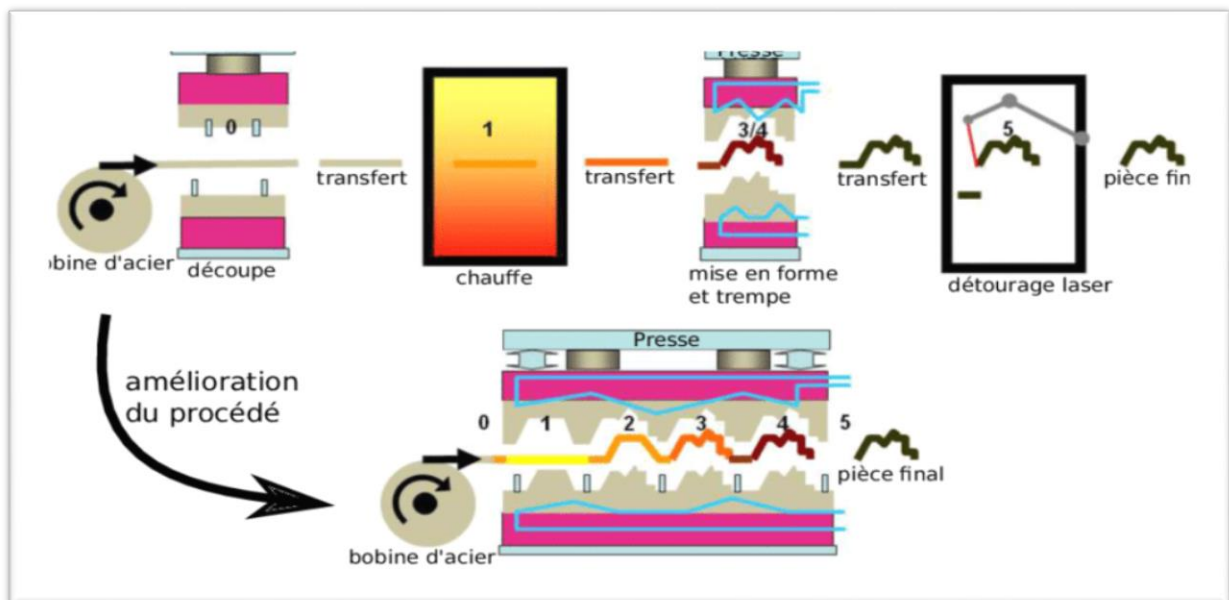


Figure II. 7: Emboutissage multi-passes

Phases d'emboutissage

L'emboutissage possède 5 étapes ou bien 5 phases comme on vient de le montrer sur les figures ci-dessous pour atteindre la pièce finale.

Phase 1 : le poinçon et le serre-flan sont relevés. La tôle, préalablement graissée, est posée sur la matrice

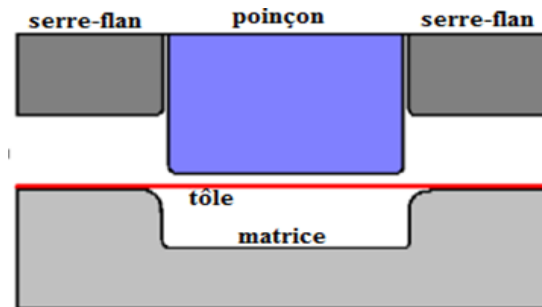


Figure II. 8: 1^{ère} phase d'emboutissage

Phase 2 : le serre-flan est descendu et vient appliquer une pression bien déterminée, afin de maintenir la tôle tout en lui permettant de glisse.

Phase 3 : le poinçon descend et déforme la tôle de façon plastique en l'appliquant contre le fond de la matrice.

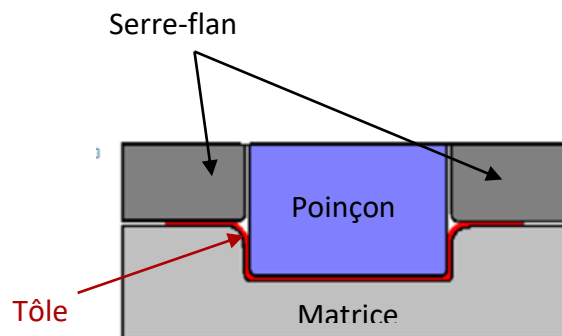


Figure II. 9: 3^{ème} phase d'emboutissage.

Phase 4 : le poinçon et le serre-flan se relèvent : la pièce conserve la forme acquise (limite d'élasticité dépassée)

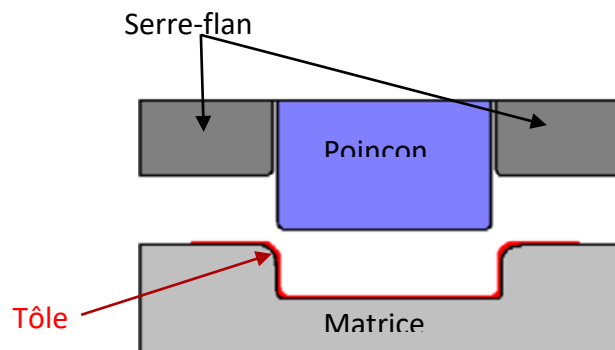


Figure II. 10: Relèvement du poinçon et serre-flan

II.4.3 Découpage des tôles:

Parmi tous les procédés industriels de mise en forme : le filage, le matriçage, l'emboutissage, le pliage, il y a le découpage de tôles qui est une opération particulière qui consiste à enlever de la matière par un cisaillement normal au plan de la tôle. [6]

II.4.3.1 Découpage en petites séries

On utilise la méthode suivante :

L'électroérosion au fil qui est utilisée en général pour réaliser l'ajourage dans la bande au cours de la mise au point de l'outil de presse. Elle permet de se passer, à cette étape de développement de l'outil où seuls les postes de formage sont testés, de la réalisation des postes de découpage de la bande. C'est un procédé thermique.

II.4.3.2 Découpage petites et moyennes séries

On utilise la méthode suivante

L'oxycoupage : les découpages plasma traditionnel ou à jet fin, laser ou au jet d'eau abrasif sont des techniques dites « de tôlerie ». Elles sont utilisées pour débiter les tôles et, pour les trois dernières techniques, afin de réaliser des découpages de précision. L'oxycoupage, les découpages plasma et laser sont des procédés thermiques. Le découpage au jet d'eau abrasif est un procédé abrasif.

II.4.3.3 Découpage Moyennes et grandes séries

Le découpage à la presse est le procédé de découpage des tôles le plus ancien et reste encore, et de loin, le plus productif. La plupart des pièces métalliques qui composent une automobile sont découpées selon ce procédé : les pièces visibles, dites d'aspect (capots, ailes, côtés de caisse, haillons...), et plus ou moins cachées de la structure (longerons, pieds milieu, charnières, colonnes de direction...). Ce procédé est également utilisé dans les secteurs de la quincaillerie (rondelles, mécanismes de portes et fenêtres...), de l'électroménager (tambours de machines à laver, capotages...), du bâtiment (caillebotis, pièces d'échafaudage...), des composants électriques et électroniques (boîtiers d'autoradios, connexions, supports de circuits imprimés...).

La plupart du temps, le découpage accompagne une opération de formage comme l'emboutissage ou le pliage. Dans certains cas, c'est la seule ou la principale opération réalisée (cas des rondelles ou des pièces plates de connectique).

- **Différentes opérations de découpage :**

- a. **Découpe de tôles au plasma :**

La découpe au plasma est une découpe effectuée à travers une buse qui souffle du gaz à très haute intensité. Au moyen de ce processus, le gaz est transformé en plasma grâce à un arc électrique qui s'instaure entre une électrode et la surface à découper. Ce type de découpe, effectué sur une table spéciale, est notamment adoptée pour créer des dessins à gravure particuliers.



Figure II. 11: Exemple Découpe de tôles au plasma

- b. **Crevage :**

Qui est un découpage partiel.

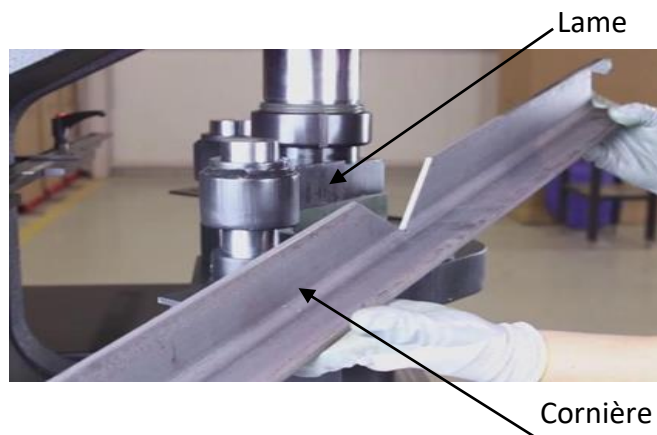


Figure II. 12: Exemple de crevage

c. Cisailage de tôle :

Le cisailage est la séparation totale ou partielle d'un élément métallique à l'aide de deux lames dont l'une au moins est mobile

La tôle est cisailée entre deux lames : l'une fixe et l'autre mobile, sans formation de copeaux.

Les lames peuvent être circulaires comme dans le cas de la cisaille à molettes.

Physiquement, le cisailage est l'action de séparation d'un corps en deux parties sous un effort appelé contrainte de cisaillement.

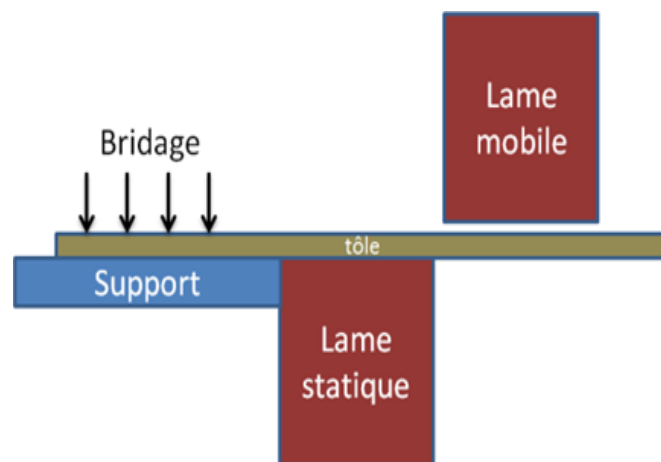


Figure II. 13: Exemple de cisaillement d'une tôle.

II.4.4 Le pliage:

Le pliage est un procédé qui résulte de l'application d'une force le long de la longueur d'un matériau, généralement plat, tout en le soutenant par deux points d'appui. Ce processus est similaire à la flexion, mais il exige de dépasser la limite élastique pour obtenir l'angle voulu.

II.4.4.1 Différents types de pliage

Suivant la géométrie des poinçons et des matrices, trois types de pliage sont distingués : en V, en U et en L. [5]

a. Pliage en « V » (en l'air ou en frappe)

Le schéma du pliage pour ces deux méthodes est assimilé à un schéma de flexion (Figure II.14). Les points d'appuis du schéma représentent les arêtes du vé, et une flèche qui symbolise une force. C'est le réglage de la descente du poinçon qui donnera l'angle final du pliage.

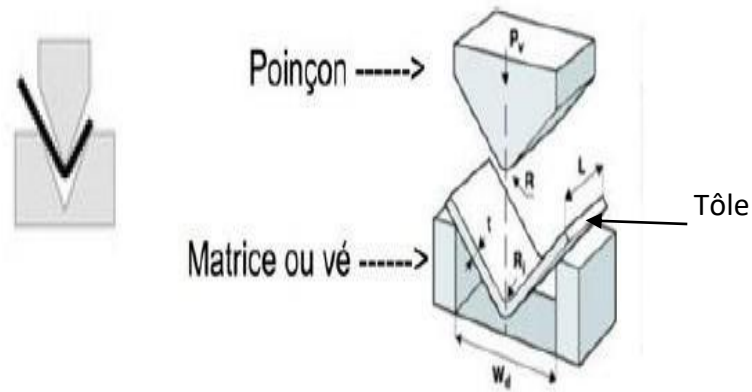


Figure II. 14: Vé et contre-vé en pliage.

- **Le pliage en l'air**

Les branches libres du pli ne viennent pas au contact des faces intérieures du vé. La limitation de la descente du poinçon et l'écartement du vé, permettent d'obtenir les plis aux angles désirés.

Ce mode de pliage est couramment utilisé car les forces appliquées sont environ 5 fois Moins importantes que pour du pliage en frappe.

- **Pliage en frappe**

Le poinçon entraîne les deux branches libres du pli jusqu'au contact des faces intérieures de la matrice, il en résulte un écrouissage de la zone pliée et l'angle obtenu est sensiblement égale à celui du vé. Cette technique permet d'obtenir des pièces précises, mais elle nécessite des efforts de pliage importants. Il faut un outillage pour chaque angle et il est limité aux tôles jusqu'à 2 mm d'épaisseur. Le fait de matricer l'intérieur du pli permet d'obtenir des angles très précis ($\pm 0,5^\circ$).

b. Pliage par cabrage en U (emboutissage)

Le principe est voisin de celui du pliage en V. Seuls les outils (poinçons et matrices seront différents). Cela ressemble cependant à de l'emboutissage. On peut obtenir avec cette méthode une infinité de formes pliées, si les outils sont disponibles

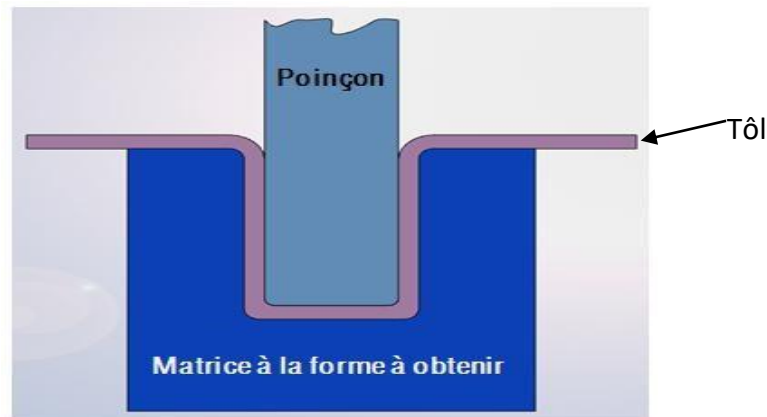


Figure II. 15: pliage en U.

c. Pliage en L

Le pliage en L ou en tombée de bord consiste à plier un flan en porte-à-faux à 90° maintenu entre la matrice et le serre-flan.

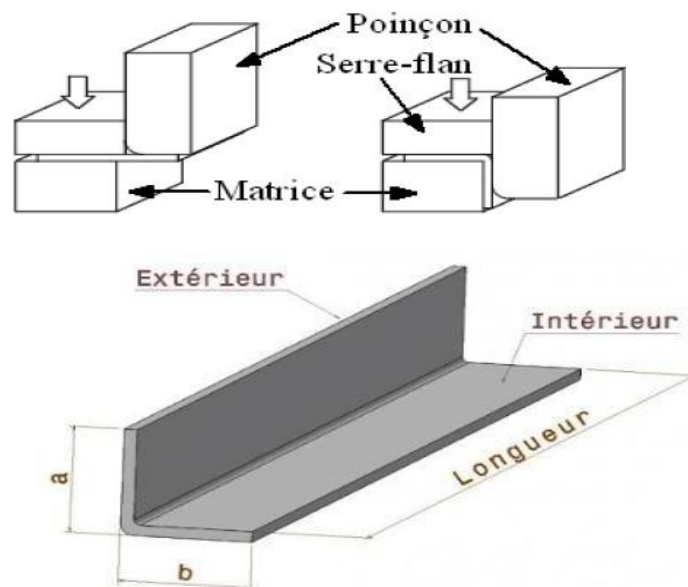


Figure II. 16: Exemple d'une pièce pliée en L.

II.4.4.2 Caractéristiques d'un pli:

a. Le pli

Lors du pliage, la tôle subit une pression qui change l'orientation des fibres. Les fibres intérieures sont comprimées alors que celles extérieures subissent un étirement. L'angle obtenu est appelé « angle de pliage ».

Entre les deux zones de déformations, la fibre neutre qui ne subit aucun allongement ni raccourcissement sera la base de notre calcul de la longueur développée. En effet, si nous savons déterminer la longueur de cette fibre qui ne subit aucune déformation après pliage, nous trouverons la longueur de la tôle avant pliage. [9]



Figure II. 17: Fibre neutre

b. Rayon minimale de pliage :

Le rayon minimal de pliage est le plus petit rayon pour lequel il n'y a pas apparition de fissures lors du pliage. [9]

Il dépend de :

- La nature et de l'état du métal (recuit, écroui)
- L'angle du pliage : Pour une épaisseur donnée le rayon de pliage croît avec l'angle de pliage.
- L'épaisseur le rayon minimal peut être déterminée par la formule suivante :

$$\frac{R_{min}}{e} = \frac{1}{\left[\frac{A-4}{100-Z} \right] \times \left[\frac{A-4}{100-Z} + 2 \right]}$$

Avec :

- $R_{\min}$: Rayon minimal de pliage
- e : Epaisseur de la tôle
- $A\%$: Allongement après rupture
- $Z\%$: Coefficient de striction

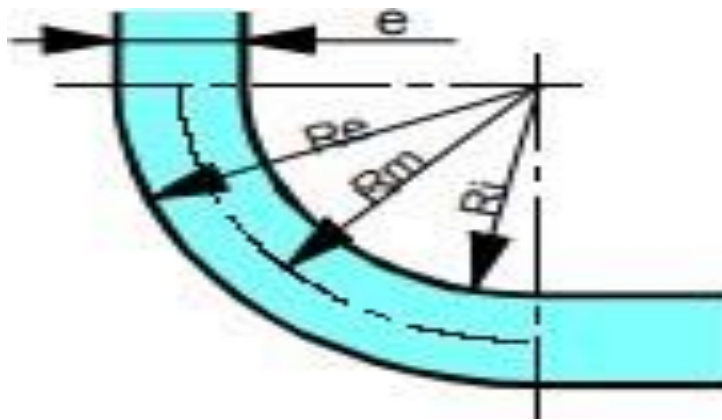
c. Calcul du rayon moyen

Figure II. 18: Différents rayons dans un pli.

$$R_m = R_i + e/2 \text{ Ou } R_m = R_e - e / 2$$

Avec

- R_e = Rayon extérieur. (mm)
- R_m = Rayon moyen. (mm)
- R_i = Rayon intérieur. (mm)
- e = Epaisseur. (mm)

II.4.4.3 Paramètres influents sur l'opération de pliage

On distingue deux paramètres principaux à définir pour obtenir une pièce finie :

a. Le rayon de la matrice de pliage

Afin d'éviter le découpage ou l'étirage de la pièce à plier, le rayon de la matrice doit être supérieur à deux fois l'épaisseur de la tôle.

$$R \geq 2e$$

b. Le jeu de pliage

Lors de la conception de l'outil de pliage, il faut prévoir un jeu de pliage entre l'arrête verticale extérieure du poinçon et l'arrête intérieure de la matrice.

Le jeu doit être égal à l'épaisseur de la tôle plus une tolérance maximale.

$$J \geq e + \text{Tolérance max}$$

c. Le retour élastique

Lors du pliage d'une pièce à un angle imposé par l'outillage (angle du vé), il y a un retour élastique lors du retrait du poinçon. L'angle final α_f obtenu diffère de celui imposé par l'outillage α_i de la valeur correspondant à ce retour élastique. Plus la limite élastique de l'alliage est grande plus le retour élastique sera grand. On peut vouloir estimer ce retour élastique qui dépend aussi du Rayon de pliage et de l'épaisseur de la tôle. [10]

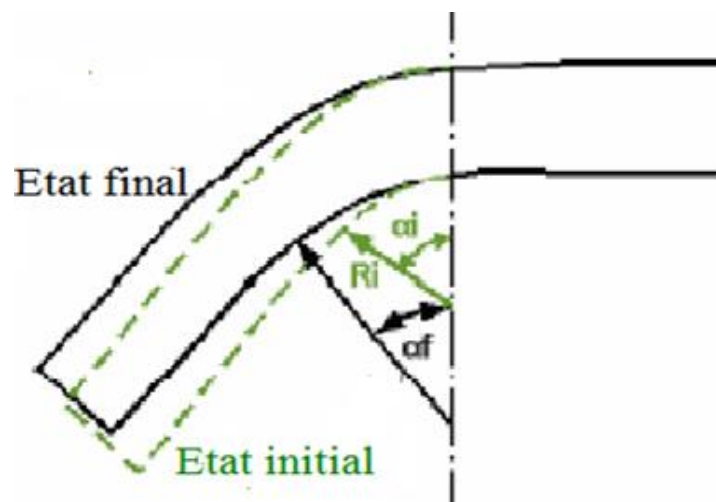


Figure II. 19: Retour élastique.

II.4.4.4 Calcul des efforts de pliage

La connaissance de l'effort à fournir dans le pliage est utile pour le choix de la presse, pour cela on utilise les formules expérimentales ou les abaques.

L'effort de pliage dépend de plusieurs facteurs englobant :

- Le matériau (la résistance, l'épaisseur)
- La forme de la pièce (en V, Z, U, ...)

La façon d'exécution du pliage (pliage avec poinçon et matrice ou avec plaque pivotante).

- Le frottement entre le demi-produit et l'outillage.
- La vitesse de déformation...

a. Pliage en V

Pliage sans frappe

L'effort de pliage exercé par le poinçon est donné par la formule suivante :

$$F_1 = K \frac{L \times R_m \times e^2}{V}$$

Avec :

- **F** : Force de pliage en [N].
- **R_m** : la résistance mécanique du métal à plier (N/mm²).
- **L** : longueur pliée.
- **e** : épaisseur de la tôle (mm).
- **V** : ouverture du V (mm).
- **K** : un coefficient dépendant de V.

b. Pliage en U

- **Sans frappe**

Dans ce cas, l'effort est fortement tributaire du jeu entre poinçon et matrice.

Si : le jeu = épaisseur nominale de la tôle + tolérance maximale, l'effort peut être défini par la relation :

$$F_2 = \frac{3}{2} \times L \times R_m \times e \left(1 + \frac{e}{a} \right)$$

- **Avec frappe**

La relation : $F_3 = 2,5 \times F_2$ permet d'obtenir de bons résultats.

II.4.4.5 L'outillage:

Les opérations de pliages se font sur des machines appelées presses plieuse. Les types de presses plieuses les plus utilisées sont :

- La plieuse à tablier : cette machine convient mieux dans un petit atelier de tôlerie.
- Les presses plieuses : sont des machines très puissantes que l'on utilise pour les pliages de métaux en feuilles de toutes épaisseurs.
- **Différentes sortes de plieuses**

Il existe de nombreuses sortes de plieuses : les plieuses simples, les plieuses universelles, les presses plieuses [15]

a. Plieuses Simples

Ce type de plieuses a tendance à disparaître. L'axe de rotation du tablier-plier est fixe ou mobile, dans les 2 cas, il est toujours situé dans le plan horizontal de la table.

b. Plieuses Universelles

Ces presses peuvent plier des pièces de longueurs qui peuvent atteindre jusqu'à 3m et des épaisseurs de 5.6mm maximum. Elles sont appréciées pour les pliages « spéciaux », comme le pliage de tubes ou profilés (d'un diamètre limité) car on peut y adapter n'importe quel montage.

c. Presses Plieuses

Une presse plieuse permet de plier des épaisseurs allant de 1 à 20mm. Les tôles sont placées sur une matrice (généralement, la matrice inférieure est fixe) maintenues par des butées arrière correctement réglées. L'opérateur fait ensuite descendre le poinçon.

II.5 Conclusion:

Ce chapitre nous a permis d'avoir un aperçu sur différents procédés de mise en forme. Parmi ces procédés nous nous sommes intéressés sur le pliage, en étudiant ces principes théoriques ainsi que les différents calculs qui influent, comme l'effort de pliage et la prévention du retour élastique.

Chapitre III :
ETUDE ET CONCEPTION
DE L'OUTIL DU PLIAGE

CHAPITRE III : ETUDE ET CONCEPTION DE L'OUTIL DU PLIAGE

III.1 Introduction:

La création d'une pièce ou d'un objet mécanique implique un ensemble de procédés visant à transformer la matière première en un produit final désiré.

Dans l'industrie de l'électroménager on utilise une multitude de presses pour façonner des pièces de formes variées, répondant ainsi aux exigences des fabricants. La conception des outils destinés à ces presses exige un dimensionnement précis en fonction de la presse sélectionnée.

L'outil de presse doit satisfaire aux exigences du cahier des charges établies par le client, tout en respectant les contraintes inhérentes au savoir-faire du métier de transformation et de mise en forme des tôles.

Ce chapitre précisera les différents paramètres à prendre en compte lors de l'étude et du développement de l'outil.

III.2 Travail demandé:

Notre travail se résume à concevoir un outil de pliage du cache ventilateur de la cuisinière ENIEM, dont les caractéristiques sont présentées sur le dessin de définition de la pièce.

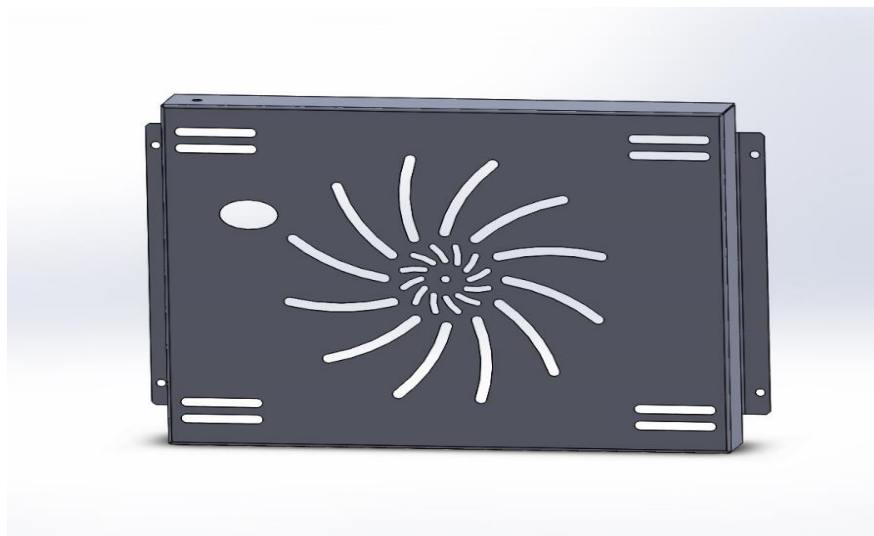


Figure III. 1: Cache ventilateur de la cuisinière ENIEM

III.2.1 Emplacement de la pièce:

Le cache ventilateur se fixe sur le ventilateur se trouvant dans le four de la cuisinière, et ça sert à couvrir et à protéger le ventilateur, mais aussi pour la sécurité de l'utilisateur.

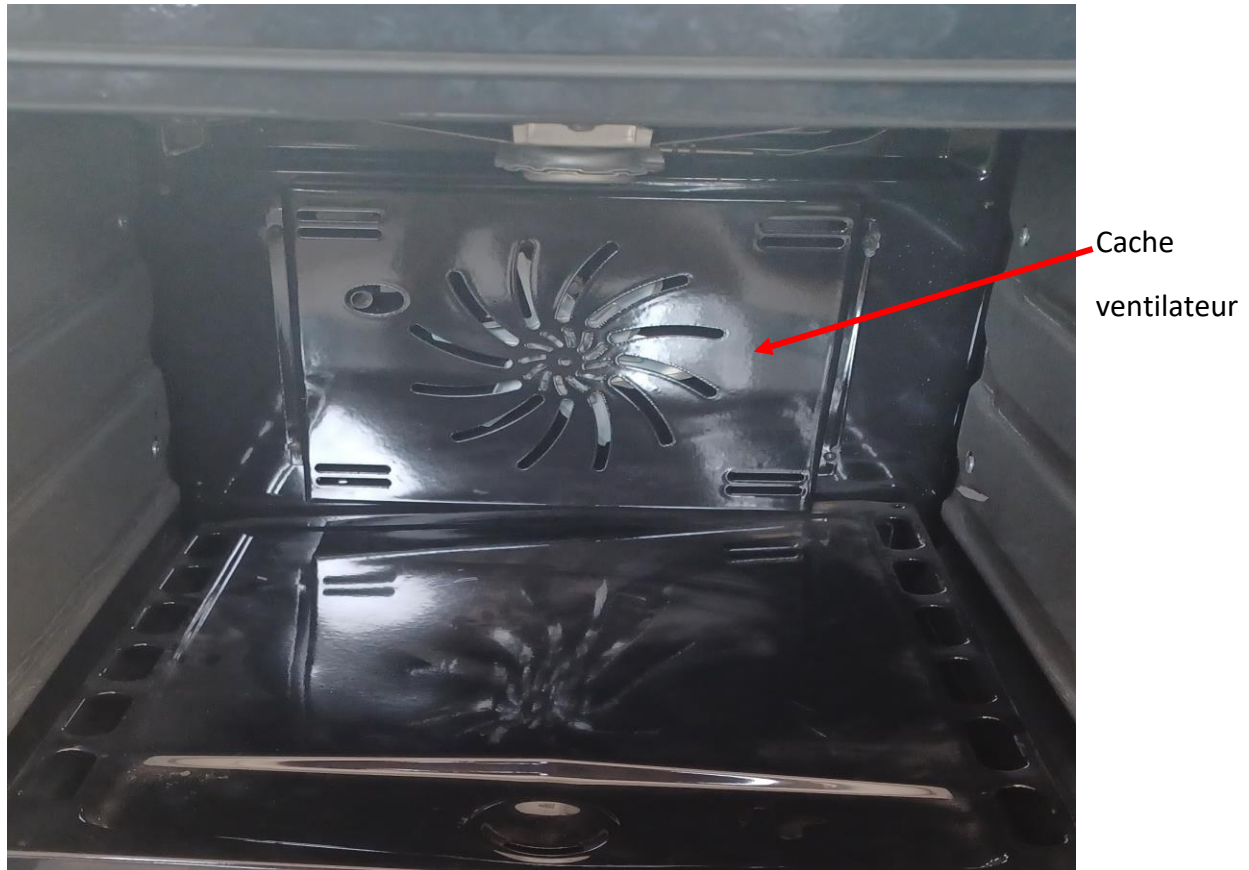


Figure III. 2: Emplacement de Cache ventilateur

Cette pièce est de dimension : $228.66 \times 288.66 \times 35$ d'une épaisseur de **0.06 mm**. De tôle laminée à froid en acier doux émaillage conventionnel, de la norme : **NF EN 10209 DCO4 EK, m**

III.3 Cahier des charges:

III.3.1 Definition:

Le cahier des charges constitue une référence à respecter rigoureusement pour mener à bien l'élaboration et la conception d'un projet. La pièce à réaliser est un cache ventilateur de la

cuisinière ENIEM dont les caractéristique dimensionnelles et géométrique sont présentées à travers un dessin de définition de la pièce

Le cahier des charges fourni par l'entreprise ENIEM se présente comme suit :

III.3.2 Caractéristiques de la tôle:

a) Chimiques :

Tableau III. 1 Caractéristiques Chimiques de la tôle

Composition Chimique en % (Max) sur coulée			
C	Mn	P	S
0.08	0.5	0.03	0.05

b) Mécaniques :

Tableau III. 2 Caractéristiques Mécaniques de la tôle

Ep (mm)	Re (N/mm ²)	Rm (N/mm ²)	A ₈₀ % Min
0.5-0.7	140-240	270-350	34
0.7-3.0	140-220		36

III.3.3 Aspect de surface :

Aspect de surface bon et de finition m.

➤ Aptitude au revêtement de surface :

Les pièces des tôles (de 01 à 15 du tableau des dimensions nominales) après transformation recevront une couche de masse et une couche de couverture et quelques pièces des tôles (de 01 à 15 du tableau des dimensions nominales) seront zinguées. Les pièces des tôles (de 16 à 22 du tableau des dimensions nominales) seront émaillées en blanc.

III.3.4 Livraison:

Les produits devront être fournis huilés des deux faces avec une couche d'huile neutre non siccativ, exempte de corps étrangers et répartie de façon uniforme, de manière que dans des conditions normales d'emballage, de transport, de manipulation et de stockage, les produit ne présentent pas de corrosion dans un délai de 06 mois.

➤ **Mode de livraison :**

La tôle devra être livrée en bobine avec :

- Poids de la bobine mère : < 10 T
- Diamètre intérieur : 490 à 530 mm
- Diamètre extérieur : < 1400 mm

III.4 Etude des paramètres du pliage

III.4.1 Le jeu de pliage:

C'est le jeu entre l'arrête verticale intérieure du poinçon et l'arrête intérieure extérieure de la matrice.

$$J \geq e + \text{Tolérance max}$$

$$J \geq 0.6 + 0.05$$

$$J \geq 0.65$$

III.4.2 Calcul des efforts de pliage :

On pratique, on admet que l'effort nécessaire pour former un pli est égal au dixième de l'effort nécessaire pour cisailer la section de la tôle à cet endroit.

$$F = \frac{e \times L \times Rc}{10}$$

Avec :

- **F** : Effort de pliage (N).
- **e** : L'épaisseur de la tôle, (en mm).
- **L** : La longueur de la ligne de pliage, (en mm).
- **Rc** : Résistance de la tôle au cisaillement, (en N /mm²).

Pour assurer un bon fonctionnement de l'outil et une bonne résistance aux efforts, on a la valeur maximale : **Rm = 350** (N/mm²)

Généralement, on prend que la résistance au cisaillement **Rc**, correspond à 8/10 de la résistance à la rupture **Rm**.

Donc : **Rc = 0.8 × Rm**

$$\mathbf{Rc} = 0.8 \times 350 = \mathbf{280 \text{ N/mm}^2}$$

On doit réaliser six (06) plis en une seule opération.

- Calcul du pli 01 :

$$F1 = \frac{e \times L \times Rc}{10} = \frac{0.6 \times 227 \times 280}{10} = 3813.6 \text{ N}$$

$$\mathbf{F1 = 3813.6 \text{ N}}$$

- Calcul du pli 02 :

$$F2 = \frac{e \times L \times Rc}{10} = \frac{0.6 \times 287 \times 280}{10} = 4821.6 \text{ N}$$

$$\mathbf{F2 = 4821.6 \text{ N}}$$

- Calcul du pli 03 :

$$F3 = \frac{e \times L \times Rc}{10} = \frac{0.6 \times 189 \times 280}{10} = 3175.2 \text{ N}$$

$$\mathbf{F3 = 3175.2 \text{ N}}$$

- Calcul du pli 04 :

Les plis 01 et 04 ont la même longueur donc :

$$F_4 = F_1 = 3813.6 \text{ N}$$

- Calcul du pli 05 :

Les plis 02 et 05 ont la même longueur donc :

$$F_5 = F_2 = 4821.6 \text{ N}$$

- Calcul du pli 06 :

Les plis 03 et 06 ont la même longueur donc :

$$F_6 = F_3 = 3175.2 \text{ N}$$

L'effort total de pliage :

$$F_p = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 = (3813.6) \times 2 + (4821.6) \times 2 + (3175.2) \times 2$$

$$F_p = 23620.8 \text{ N}$$

III.4.3 Calcul d'effort de dévêtissage :

L'effort d'extraction du poinçon de pliage est égal à 7% de l'effort totale de pliage

Donc :

$$F_{\text{dev}} = F_p \times 0.07$$

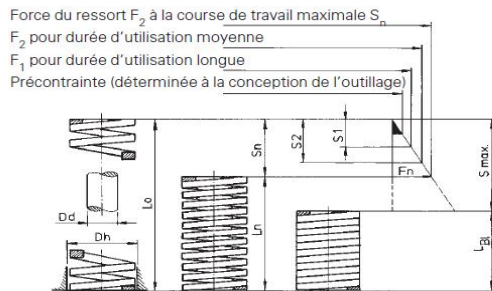
$$F_{\text{dev}} = 23620.8 \times 0.07 = 1653.456 \text{ N}$$

III.4.4 Choix de nombre de ressorts :

❖ Partie inférieure :

À partir des abaques, on prend un ressort couleur bleu pour charge moyenne, de force égale à 262 N et de diamètre 16 comme sélectionné dans la figure suivante :

Ressorts système SZ 8020 pour charge moyenne, couleur bleue

STEINEL®
NORMALIEN


ISO 10243

Ressort de compression hélicoïdal pour charge moyenne
Matériau : Fil d'acier à ressort (Cr-V / Cr-Si)

Tolérances idem DIN 2095.

Les ressorts sont grenailés, dressés et rectifiés pour obtenir des surfaces parallèles et perpendiculaires à l'axe.

Exemple de commande : Ressort système pour charge moyenne **SZ 8020**
 $D_h = 25 \text{ mm}$, $L_0 = 76 \text{ mm}$
Complément **25 x 076**
N° de référence **SZ 8020.25 x 076**

 Complément
 au N° de référence avec
 dimensions

N° de référence SZ 8020.

Alésage	Axe	Fil		Taux d'élasticité	Durée d'utilisa- tion longue	Durée d'utilisa- tion moyenne	course de travail max.		course de ressort max.			
$\varnothing$	$\varnothing$		Longueur	en N/mm	$s_1 = 20\%$	F_1	$s_2 = 25\%$	F_2	$s_n = 35\%$	F_n	s_{max} approx.	
D_h	D_{dh15}		L_0	$c \pm 10\%$	en mm	en N	en mm	en N	en mm	en N		
16	8	3,2x2,0	25	49,4	5,0	247	6,3	311	8,8	434	11	16 x 025
16	8		32	37,1	6,4	237	8,0	296	11,2	415	15	16 x 032
16	8		38	33,9	7,6	257	9,5	322	13,3	450	18	16 x 038
16	8		44	30,0	8,8	264	11,0	330	15,4	462	22	16 x 044
16	8		51	26,4	10,2	269	12,8	337	17,9	472	24	16 x 051
16	8		64	20,5	12,8	262	16,0	328	22,4	459	32	16 x 064
16	8		76	17,8	15,2	270	19,0	338	26,6	473	36	16 x 076
16	8		89	15,2	17,8	270	22,3	338	31,1	472	43	16 x 089
16	8		102	13,5	20,4	275	25,5	344	35,7	481	47	16 x 102
16	8		305	4,8	61,0	292	76,3	366	106,8	512	139	16 x 305

Figure III. 3: Abaque de classification des ressort (STEINEL) [19]

$$\text{Avec : } F_{\text{ressort1}} = \frac{F_{\text{dev}}}{N_1}$$

$$N_1 = \frac{F_{\text{dev}}}{F_{\text{ressort1}}}$$

$$N_1 = \frac{1653.456}{262} = 6.31$$

N1 : nombre de ressorts de la partie inférieure.

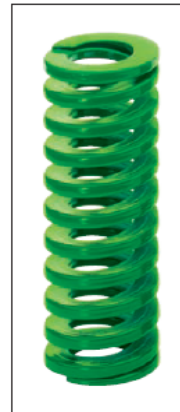
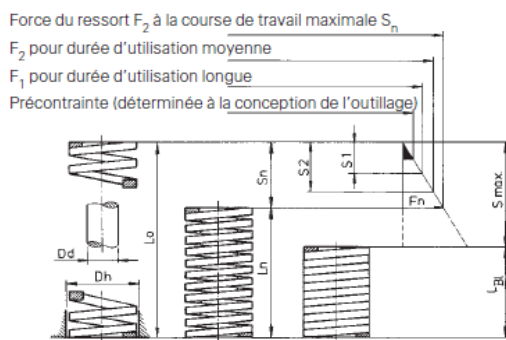
Donc pour la partie inférieure, on doit mettre six 06 ressorts. (Poinçons de pliage inférieurs)

❖ **Partie supérieure :**

Toujours des abaques, on choisit un ressort de couleur verte pour charge légère, de force de 312 N et de diamètre 20, figure ci-dessous :

Ressorts système SZ 8010
pour charge légère, couleur verte

STEINEL®
NORMALIEN



ISO 10243

Ressort de compression hélicoïdal pour charge légère

Matériau : Fil d'acier à ressort (Cr-V / Cr-Si)

Tolérances idem DIN 2095.

Les ressorts sont grenailés, dressés et rectifiés pour obtenir des surfaces parallèles et perpendiculaires à l'axe.

Exemple de commande : Ressort système pour charge légère **SZ 8010**

Dh = 25 mm, L0 = 76 mm

Complément **25 x 076**

N° de référence **SZ 8010,25 x 076**

Complément
au N° de référence avec
dimensions

N° de référence **SZ 8010.**

x

Alésage Ø Dh ^{H15}	Axe Ø Ddh ^{H15}	Fil 	Longueur L0	Taux d'élasticité en N/mm c ± 10%	Durée d'utilisation longue s1 = 25% en mm	F1 en N	Durée d'utilisation moyenne s2 = 35% en mm	F2 en N	course de travail max. sn = 40% en mm	Fn en N	course de ressort max. smax approx.	
20	10	4,0x2,1	25	55,8	6,3	351	8,8	491	10,0	558	13	20 x 025
20	10		32	45,0	8,0	360	11,2	504	12,8	576	17	20 x 032
20	10		38	33,3	9,5	316	13,3	442	15,2	506	20	20 x 038
20	10		44	30,0	11,0	330	15,4	462	17,6	528	24	20 x 044
20	10		51	24,5	12,8	313	17,9	438	20,4	499	27	20 x 051
20	10		64	20,0	16,0	320	22,4	448	25,6	512	35	20 x 064
20	10		76	16,0	19,0	304	26,6	425	30,4	486	40	20 x 076
20	10		89	14,0	22,3	312	31,1	435	35,6	498	49	20 x 089
20	10		102	12,0	25,5	306	35,7	428	40,8	489	55	20 x 102

Figure III. 4: Abaque de classification des ressort (STEINEL) [19]

$$\text{Avec : } F_{\text{ressort}2} = \frac{F_{\text{dev}}}{N_2}$$

$$N_2 = \frac{F_{\text{dev}}}{F_{\text{ressort}2}}$$

$$N_2 = \frac{1653.456}{312} = 5.29$$

N_2 : nombre de ressorts de la partie supérieure.

Alors pour la partie supérieure, on doit mettre cinq 05 ressorts. (Serre flan)

III.4.5 Choix des ressorts d'éjection :

L'effort des ressorts d'éjection est égal à 1.5% de l'effort total de pliage :

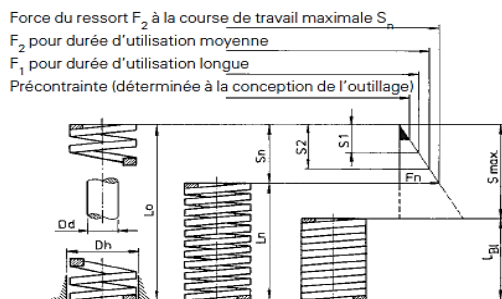
$$F_{eject} = F_p \times 0.015$$

$$F_{eject} = 23620.8 \times 0.015 = 354.312 \text{ N}$$

Prenant à partir des abaques, un ressort couleur bleu pour charge moyenne, de force égale à 80 N et de diamètre 10

Ressorts système SZ 8020 pour charge moyenne, couleur bleue

STEINEL®
NORMALIEN



ISO 10243

Ressort de compression hélicoïdal pour charge moyenne

Matériau : Fil d'acier à ressort (Cr-V / Cr-Si)

Tolérances idem DIN 2095.

Les ressorts sont grenailés, dressés et rectifiés pour obtenir des surfaces parallèles et perpendiculaires à l'axe.

Exemple de commande : Ressort système pour charge moyenne **SZ 8020**

$D_h = 25 \text{ mm}$, $L_0 = 76 \text{ mm}$

Complément **25 x 076**

N° de référence **SZ 8020.25 x 076**

Complément
au N° de référence avec
dimensions

N° de référence SZ 8020.												x	
Alésage $\varnothing D_h$	Axe $\varnothing D_{h15}$	Fil $\varnothing d_{h15}$	Longueur L_0	Taux d'élasticité en N/mm $c \pm 10\%$	Durée d'utilisa- tion longue $s_1 = 20\%$ en mm	F_1 en N	Durée d'utilisa- tion moyenne $s_2 = 25\%$ en mm	F_2 en N	course de travail max. $s_n = 35\%$ en mm	F_n en N	course de ressort max. s_{max} approx.		
10	5	1.8x1.2	25	16,0	5,0	80	6,3	100	8,8	140	12	10 x 025	
10	5		32	13,0	6,4	83	8,0	104	11,2	145	14	10 x 032	
10	5		38	11,9	7,6	90	9,5	113	13,3	158	19	10 x 038	
10	5		44	10,3	8,8	90	11,4	117	15,4	158	23	10 x 044	
10	5		51	8,9	10,2	90	12,8	113	17,9	159	27	10 x 051	
10	5		64	7,5	12,8	96	16,0	120	22,4	168	31	10 x 064	
10	5		76	5,3	15,2	80	19,0	100	26,6	140	37	10 x 076	
10	5		305	1,6	61,0	97	76,3	122	106,8	170	137	10 x 305	

Figure III. 5: Abaque de classification des ressort (STEINEL) [19]

Nombre de ressorts d'éjection :

$$\text{On a : } F_{\text{ressort3}} = \frac{F_{\text{eject}}}{N_3}$$

$$\text{Donc : } N_3 = \frac{F_{\text{eject}}}{F_{\text{ressort3}}}$$

Avec : N_3 : nombre de ressorts d'éjection.

$$\text{A.N : } N_3 = \frac{354.312}{80} = 4.43$$

Alors on doit placer quatre 04 ressorts d'éjection. (Matrice).

III.4.6 Calcul de l'effort total que doit fournir la presse : (F_{pr})

$$F_{pr} > F_p + F_{dev} + F_{eject}$$

Où :

- F_{pr} : Effort de la presse (N).
- F_p : Effort total de pliage (N).
- F_{dev} : Effort de dévêtissage (N).
- F_{eject} : Effort d'éjection (N).

$$F_{pr} > 23620.8 + 1653.456 + 354.312$$

$$F_{pr} > 25628.568 \text{ N}$$

Équivalent à **2.57 Tonnes**.

III.4.7 Choix de presse à utiliser :

Le choix de la presse adéquate dans les travaux des métaux en feuille se fait principalement en suivant plusieurs paramètres qui se présente comme suit :

- L'effort de la presse doit être supérieur aux efforts utilisés (Tonnage).
- La longueur et la largeur de la table, suffisamment supérieure à celle de l'outil.

- La hauteur libre entre la table et le coulisseau doit être supérieure à la hauteur de l'outil fermé.
- La nature des opérations à réaliser. Pour notre cas, il s'agit de pliage.

L'entreprise ENIEM dispose de différents types de presse. Le choix de la presse dépend des conditions citées ci-dessus et de l'ensemble de l'effort calculé.

À partir des résultats obtenus dans le cadre de notre travail et les dimensions de notre outil, nous avons opté pour la presse mécanique (T33 excentrique), où ses caractéristiques sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau III. 3: Choix de presse à utiliser (T33 excentrique)

Désignation de presse	Tonnage (T)	Table (mm)	Coulisseau (mm)	Course du coulisseau	Plage de réglage du coulisseau	Point mors haut	Point mors bas
T33 excentrique	135	1200 X 800	1000X 680	160	75	180	20

III.5 Conception de l'outil

III.5.1 La conception assistée par ordinateur (CAO)

La conception assistée par ordinateur (CAO), nous offre un panel d'outils puissants pour la conception et le test des produits de manière virtuelle, et donner vie aux idées avant même leur fabrication physique. Là où le dessin traditionnel s'essouffle face à des systèmes aux multiples paramètres, la CAO s'impose comme un allié indispensable. Elle permet de maîtriser des conceptions d'une complexité inimaginable, dépassant les capacités humaines. La simulation virtuelle qu'offre la CAO permet d'identifier et corriger les éventuels problèmes dès le départ, tout en économisant ainsi du temps et des ressources précieuses.

Dans notre cas, afin de mener à bien notre processus de conception, nous avons opter pour le logiciel "SolidWorks". Cet outil performant nous offre une multitude de fonctionnalités pour créer des modèles 3D précis et détaillés, repoussant toujours plus loin les limites de l'innovation.

SolidWorks est un modèleur 3D, s'appuie sur la puissance de la conception paramétrique afin d'offrir une expérience de création inégalée. Au cœur de son processus se trouvent trois concepts clés : pièce, assemblage et mise en plan. Ces concepts sont en relation et interconnectés, où toute modification, quel que soit son niveau, se répercute automatiquement

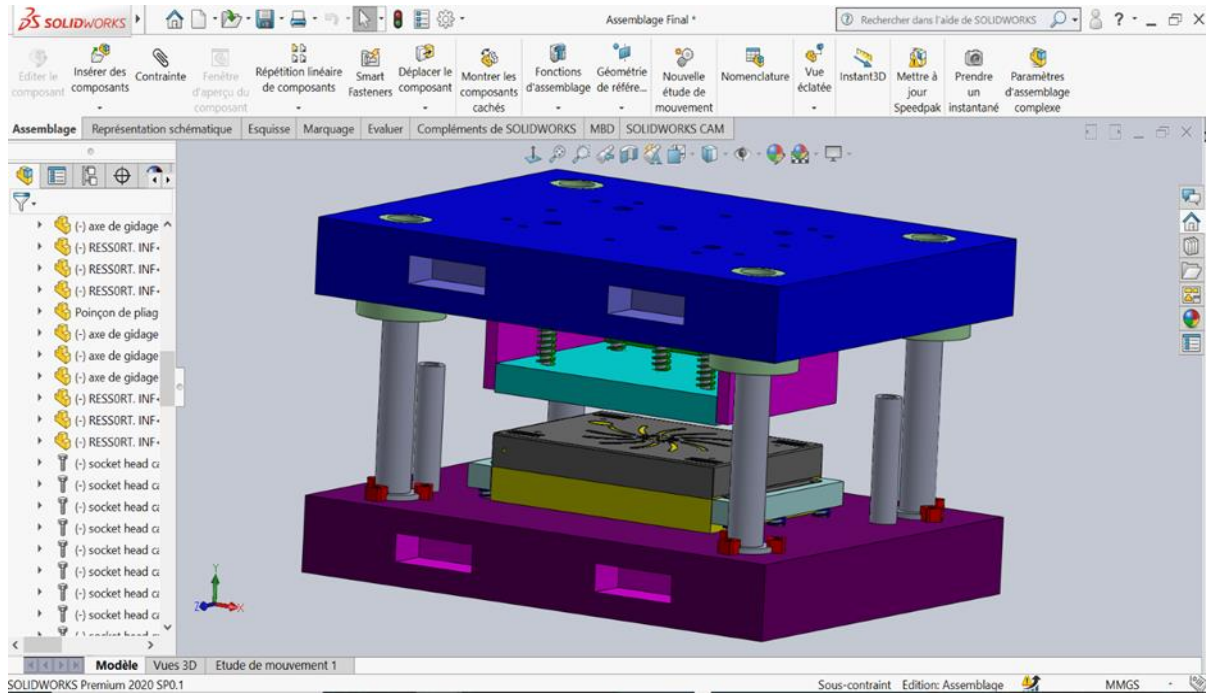


Figure III. 6: Fenêtre principale de SolidWorks (outil)

sur l'ensemble des fichiers concernés. Le dossier complet regroupant tous les fichiers relatifs à un même système constitue une maquette numérique.

III.5.2 Les éléments constituant l'outil :

Notre outil est constitué de deux parties assemblées qui se présente comme suit :

❖ **Partie inférieure :**

C'est la partie fixe de l'outil et contient ces éléments :

a. Semelle inférieure :

C'est une plaque robuste servant de support aux matrices, avec une épaisseur adéquate (80mm) afin de résister aux efforts de pliage.

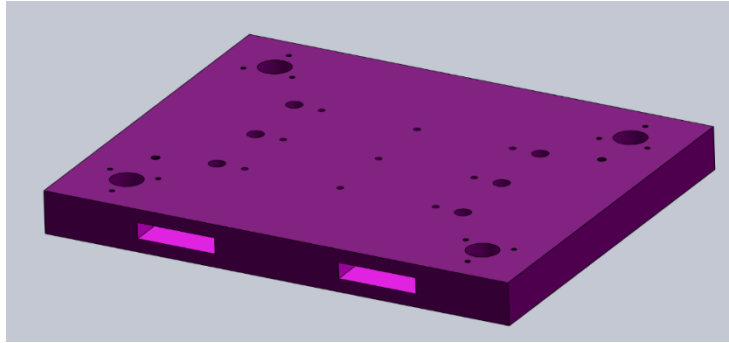


Figure III. 7: Semelle inferieure

b. Matrice

C'est la pièce sur laquelle on pose la tôle. Elle doit présenter une épaisseur suffisante pour assurer sa résistance aux efforts de pliage.

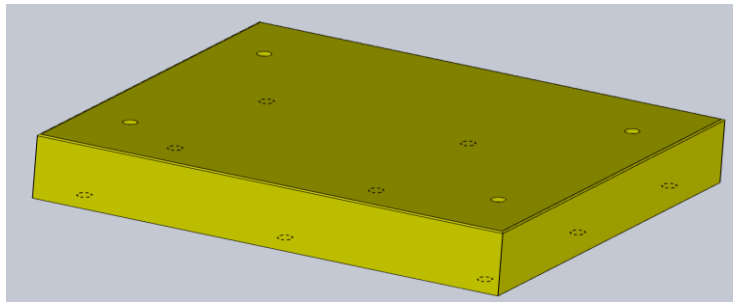


Figure III. 8: Matrice

c. Bride de fixation

C'est une pièce ou une structure utilisée pour fixer ensemble deux éléments, souvent de manière sécurisée et résistante, comme dans le cas de colonne de guidage, afin d'assurer leur stabilité et leur étanchéité

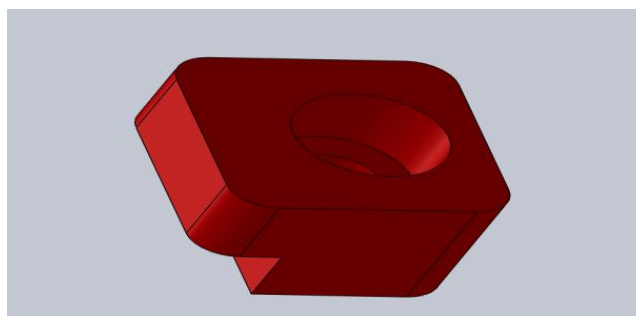


Figure III. 9: bride

d. Colonne de guidage

Ce sont des éléments fixés sur la semelle inférieure à l'aide des brides de fixation, mais glissent au niveau des embases supérieures. Elles servent de guide à l'outil dans son mouvement.

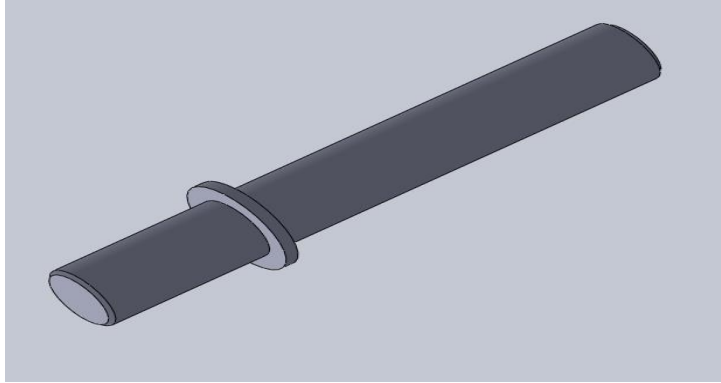


Figure III. 10: Colonne de guidage

e. Butée de fin de course

Minutieusement réglée en usine, elle empêche le dépassement du point mort de la presse. Quant à la tête de pression, elle s'effectue par l'intermédiaire d'un dispositif de guidage site sur les montants de la presse, évitant ainsi le cisaillement des pièces de l'outil.

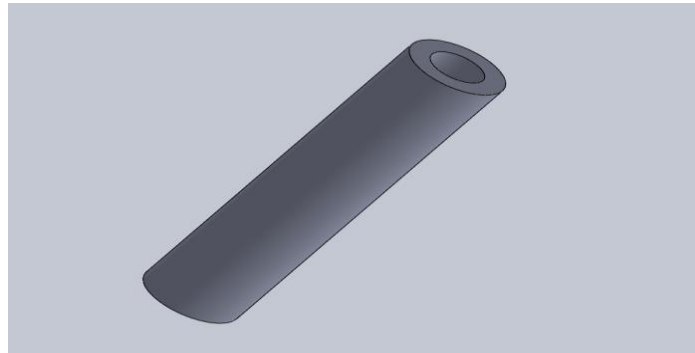


Figure III. 11: Butée de fin de course

f. Axe de guidage inférieur

L'axe de guidage entre le poinçon de pliage et la semelle inférieure assure un alignement précis et contrôlé entre ces deux éléments, garantissant ainsi la précision du pliage et la stabilité du processus.

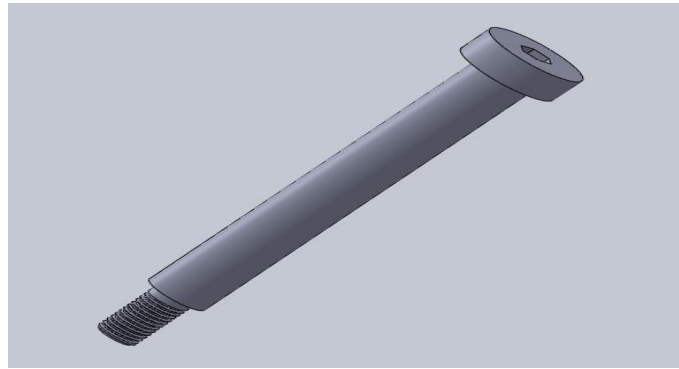


Figure III. 12: Axe de guidage inférieur

g. Poinçon de pliage inférieur (Contre poinçon de pliage)

Le poinçon doit être réalisé avec une matière rigide pour supporter l'usure et avoir des dimensions qui supporte l'effort de pliage

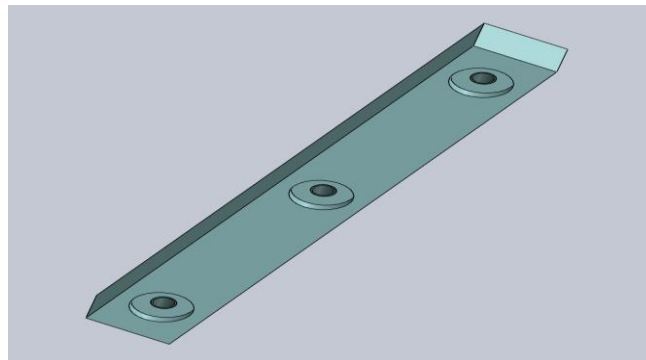


Figure III. 13: Poinçon de pliage inférieur (Contre poinçon de pliage)

h. Ejecteur

Mécanisme de dégagement de la pièce à la fin de l'opération de pliage.

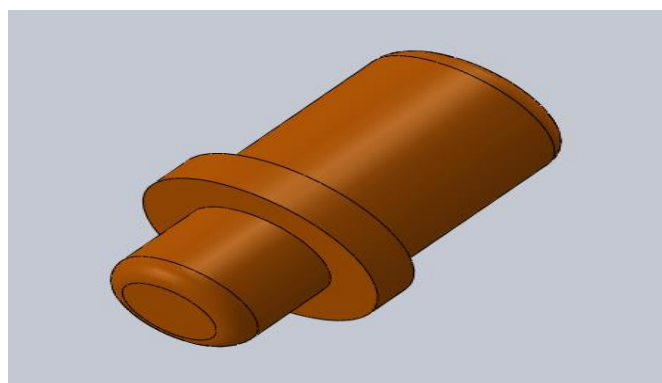


Figure III. 14:Ejecteur

❖ Partie supérieure :

C'est la partie mobile de l'ensemble de l'outil et contient les éléments suivants :

a. Semelle supérieure

C'est la partie mobile, attachée coulisseau, elle sert à porter les poinçons de pliage, le serre flan, et les embases. Son épaisseur doit être suffisante (80mm) pour résister aux efforts de pliage

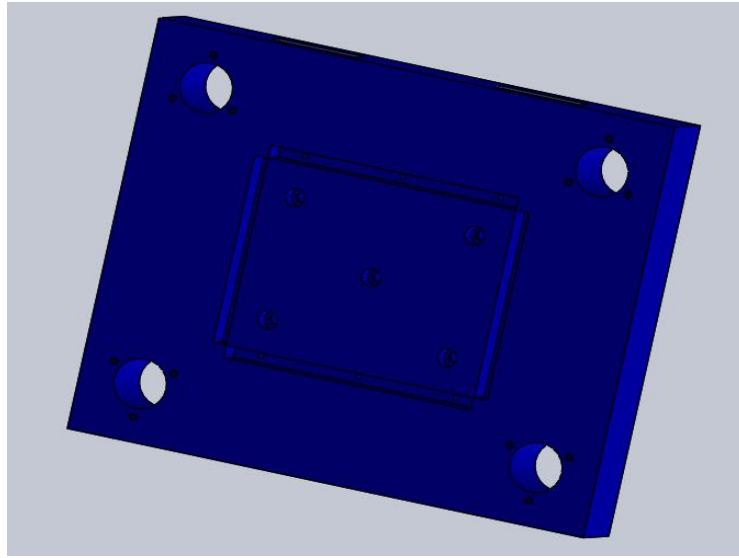


Figure III. 15: Semelle supérieure

b. Serre flan

Assure le serrage et le maintien de la pièce (tôle) pendant le processus de pliage, prévenant ainsi tout glissement ou remontée indésirable. Les poinçons de pliage sont décalés de 5 mm en haut pour assurer l'arrivée du serre flan à la pièce avant tous les poinçons de pliage.

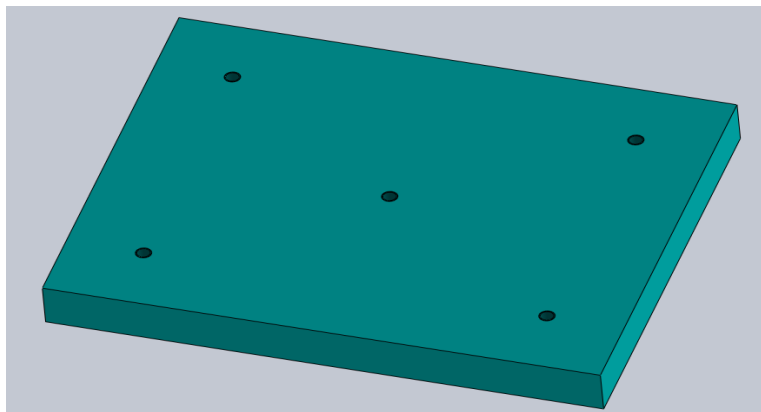


Figure III. 16: Serre flan

c. Embase

Garantissent un mouvement fluide et précis de la semelle supérieure par rapport à la semelle inférieure par l'intermédiaire des colonnes de guidage.

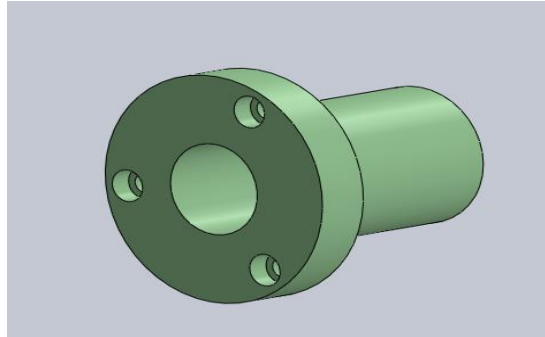


Figure III. 17: Embase

d. Poinçon de pliage supérieur

Le poinçon doit être réalisé avec une matière rigide pour supporter l'usure et avoir des dimensions qui supporte l'effort de pliage. Pour notre outil on a deux (02) poinçons de pliage de longueurs différentes.

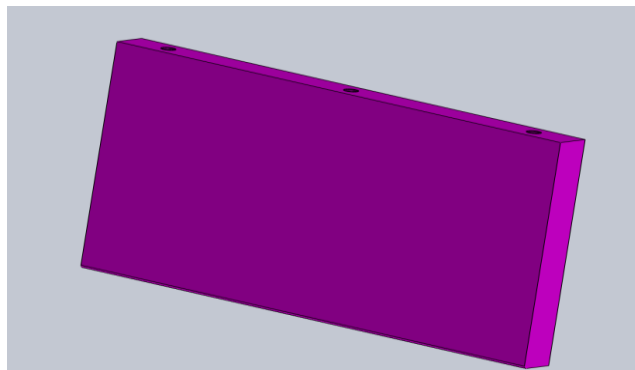


Figure III. 18: Poinçon de pliage supérieur

III.5.3 Indication d'assemblage

- Les différents éléments de l'outil seront fixés entre eux par des **vis CHC**.



Figure III. 19: vis CHC

Les vis CHC sont des vis à tête cylindrique et empreinte six pans creux. Elles font partie des vis d'assemblage et sont très souvent utilisées en construction mécanique.

Avantages	Inconvénients
Couple de serrage important Peut être noyée dans un lamage Existe en version "tête basse"	Passage outil pas toujours évident Risque de déformation de l'empreinte si trop serrée

III.5.4 Les matériaux utilisés

Pour un choix judicieux des matériaux à utiliser pour chaque pièce de l'outil, il faut tenir compte de toutes les sollicitations mécanique et physique pour avoir une durée de vie optimale et l'utilisation de l'outil dans les meilleures conditions.

Les caractéristiques principales :

- Résistance à l'usure.
- Résistance aux chocs et à la traction.
- Aptitude de subir des traitements thermiques et une bonne usinabilité.

Le tableau suivant indique les matériaux à utiliser :

Tableau III. 4: Les différents matériaux utilisés

Pièce de l'outil	Observation	Matière
Semelle supérieure Semelle inférieure Butée fin de course	-Acier à la limite d'élasticité dont $Re = 235 \text{ daN/mm}^2$ -Une bonne ténacité $R_{min} = 34 \text{ daN/mm}^2$	S235 (E24)
Matrice Poinçons	-C'est un acier fortement allié à 2% de carbone et de 12% de chrome. -Une bonne résistance à l'usure, aptitude à la trempe, et faible déformation en travail. -Une bonne résistance aux chocs $R_{min} = 218 \text{ daN/mm}^2$ -T.Thermique : 58-60 HRC	Z200C12
Serre flan	Une bonne résistance aux chocs $R_{min} = 75 \text{ daN/mm}$	XC48
Colonne de guidage Axe de guidage	-Un acier de traitement, non allié, de résistance supérieure -T.Thermique : $63 \pm 1 \text{ HRC}$	C60E

III.6 Conclusion:

Ce chapitre présente l'étude et la conception d'un outil de pliage, servant à fabriquer un cache ventilateur de la cuisinière ENIEM. Le choix de la presse a été effectué en s'appuyant sur des calculs rigoureux.

Le Logiciel Solid Works nous a permis de déterminer les dimensions de cet outil ainsi que les surfaces de pliage sans recours aux essais expérimentaux, ce qui représente un gain de temps et un gain économique, tout en ayant une bonne précision.

Conclusion générale

Notre expérience au sein de l'entreprise ENIEM dans le cadre de notre projet de fin d'étude, nous a permis d'accroître notre esprit de recherche et de mettre en pratique nos connaissances acquises pendant notre formation master en génie mécanique.

Le pliage est une technique de fabrication largement utilisée dans l'industrie, permettant de créer des pièces métalliques précises, efficaces et polyvalentes pour une large gamme d'applications. Cette étude a contribué à l'élargissement de notre champ de connaissances sur ce procédé. Cette connaissance a joué un rôle crucial dans la conception de l'outil, qui permet de fabriquer la pièce plus facilement et à moindre coût, tout en respectant des normes de qualité élevées.

L'acier domine les applications industrielles en raison de ses propriétés mécaniques et chimiques remarquables. La fabrication de pièces mécaniques implique l'utilisation de presses variées, dont le choix dépend de plusieurs facteurs clés, tels que la nature des opérations à effectuer et la force de pression requise, qui doit dépasser les efforts mis en jeu.

Notons que pour l'élaboration de ce travail, nous avons utilisé le logiciel de conception par ordinateur SolidWorks qui nous a offert la possibilité de définir les caractéristiques dimensionnelles et géométriques des différentes pièces de l'outil. Sa puissance et ses fonctionnalités nous ont aidés à concevoir un outil précis, fiable et rentable. Sa fabrication permettra de réaliser le cache ventilateur de la cuisinière fabriqué par l'entreprise ENIEM.

En fin, nous espérons que ce travail servira comme support pédagogique pour les promotions à venir. Malgré nos efforts assidus pour mener à bien cette étude, nous sommes conscients qu'elle ne représente qu'une contribution supplémentaire dans le domaine concerné. Par conséquent, nous encourageons vivement les critiques constructives et les propositions d'amélioration.

Références Bibliographiques

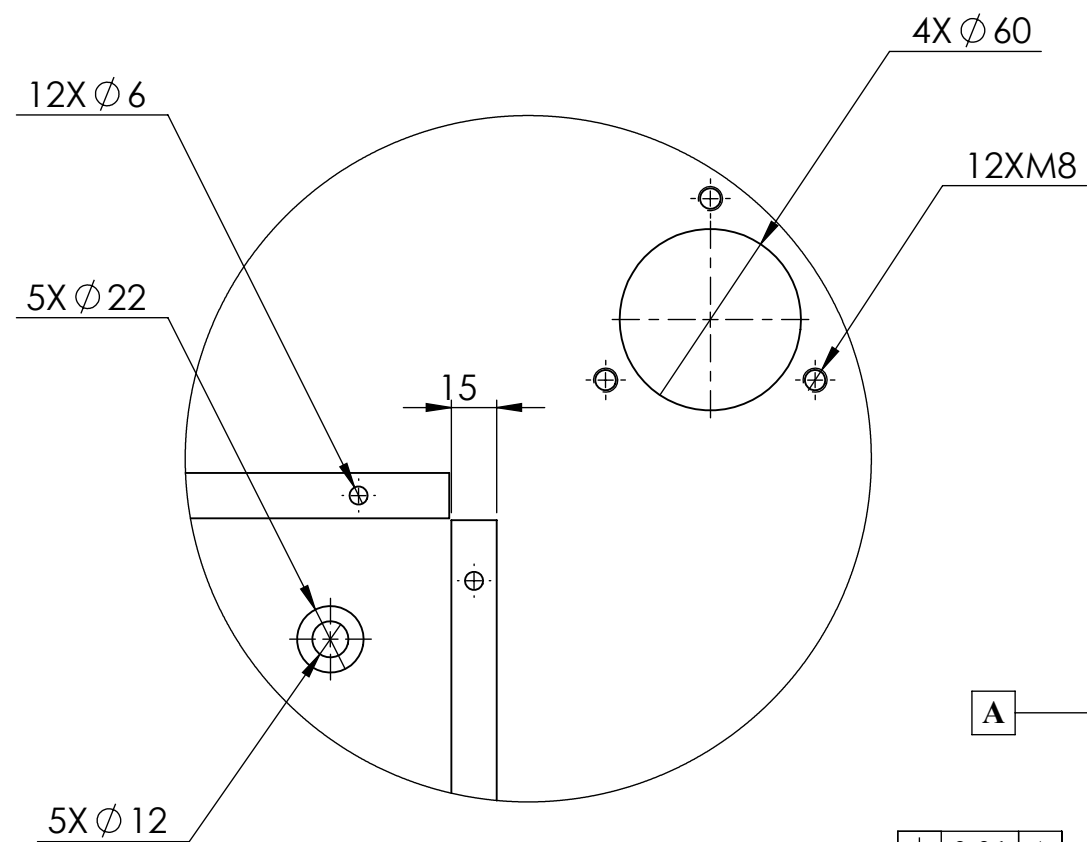
- [1] Mr : Chalal Mourad, Mr : Si Ammour Anis << Etude et conception d'un outil d'emboutissage cache de table d'une plaque chauffante ENIEM >> mémoire de fin d'étude master en génie mécanique promotion 2020/2021
- [2] Mr : FERHAT Ismail, Mr : BOUARABA Mohammed << Etude et conception d'un outil de poinçonnage et détournage d'un cache ventilateur d'une cuisinière ENIEM >> mémoire de fin d'étude master en génie mécanique option Construction mécanique promotion 2021/2022
- [3] Michel Colombié et Coll << Matériaux Métalliques >> 2 e Edition, DUNOD
- [4] David Munger, << Simulation numérique des instabilités magnétohydrodynamiques dans les cuves de production de l'aluminium>> Université de Montréal, Département de physique, Faculté des arts et sciences
- [5] Guy Murry <<Métallurgie>>, aide-mémoire 2e Edition, DUNOD
- [6] Ahmed ATMANI, Etude de l'influence des traitements thermiques sur la microstructure et les propriétés mécaniques d'une fonte ADI de type STT 700-2, année 2012
- [7] RAHIMI Karima, Etude et conception d'une bride B5 d'un moteur électrique triphase 315kw, années 2019/2020
- [8] Mr : YEFSAH LAMINE, Mr : OUALI RABAH << ETUDE ET CONCEPTION D'UN OUTIL DE POINCONNAGE, DETOURAGE POUR TABLE DE TRAVAIL 02 AUXILIAIRES CUISINIERE ENIEM >> mémoire de fin d'étude master en génie mécanique, option construction mécanique, promotion 2020/2021.
- [9] Stiti Meziane ; Modélisation Et Optimisation De La Mise En Forme Des Matériaux Application Au Laminage ; , Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, Année 2012\2013
- [10] Technologie professionnelle pour les mécaniciens. Tome 1 ; auteur : A. CAMPA ingénieur
- [11] B. AITSLIMANE et L. BELHADJ ; Etude Et Conception D'un Outil D'emboutissage Pour La Table De Travail D'une Cuisinière ENIEM Année 2018
- [12] Mémoire magistère : Répartition des retours élastiques déformations en étirage-plier et leurs effets sur l'option mécanique appliquée ; réalisé par : KUIRANI Dalel ; 2010 à l'Université FERHAT ABBAS SETIF.
- [13] CHEBINI-Siham Etude comparative de l'aptitude à la découpe des tôles magnétiques M800-65A et M800-65D (EI) Année 2011
- [14]:M.JERBI, Procédés de mise en forme, Support de cours, Institut supérieur des études technologiques de Nabeul, Année universitaire 2017-2018.
- [15]""Documentation ENIEM

[16] Mémoire magistère ; option : Conception intégrées des systèmes mécaniques et application industrielle ; thème : modélisation du comportement à la déformation élastique des tôles de construction automobile : influence des singularités ; présente par KAHOUL Hafida ; années 2010.

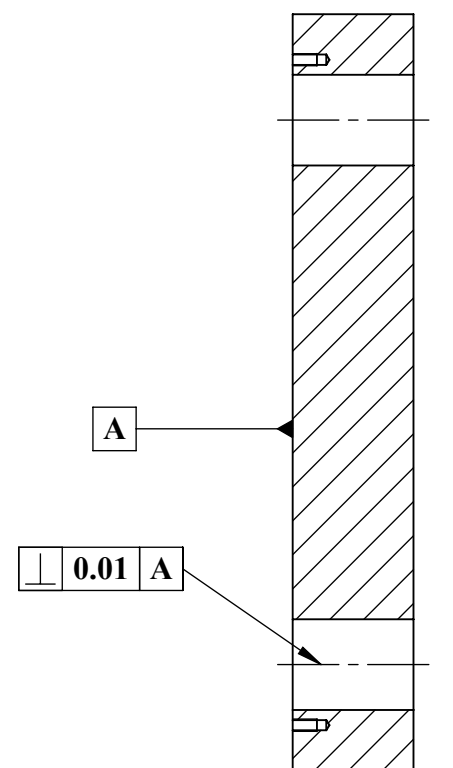
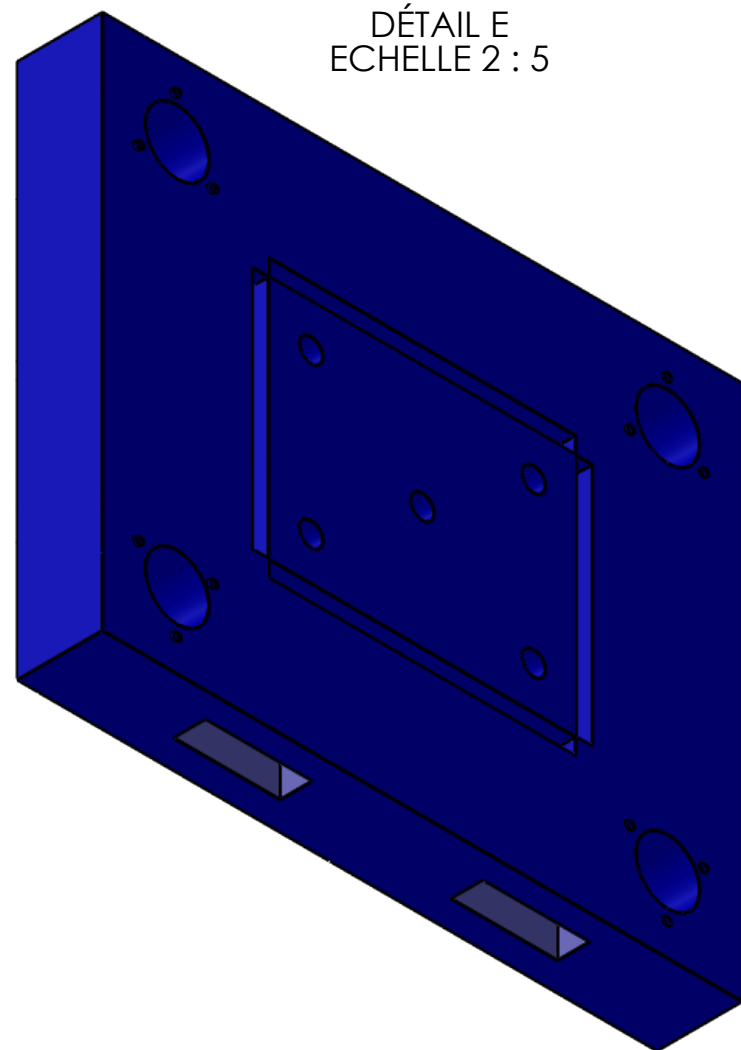
[17] BERDOUS.A, YAKOUBI.N « Etude et conception d'un outil à bande pour la réalisation d'une charnière inférieure du réfrigérateur FB1 ENIEM », mémoire master ii en construction mécanique, UMMTO 2018.

[18] Kahoul Hafida, Modélisation du comportement à la déformation élastique des tôles de construction automobile : influence des singularités », mémoire de magistère en génie mécanique, Université de Constantine, 2010

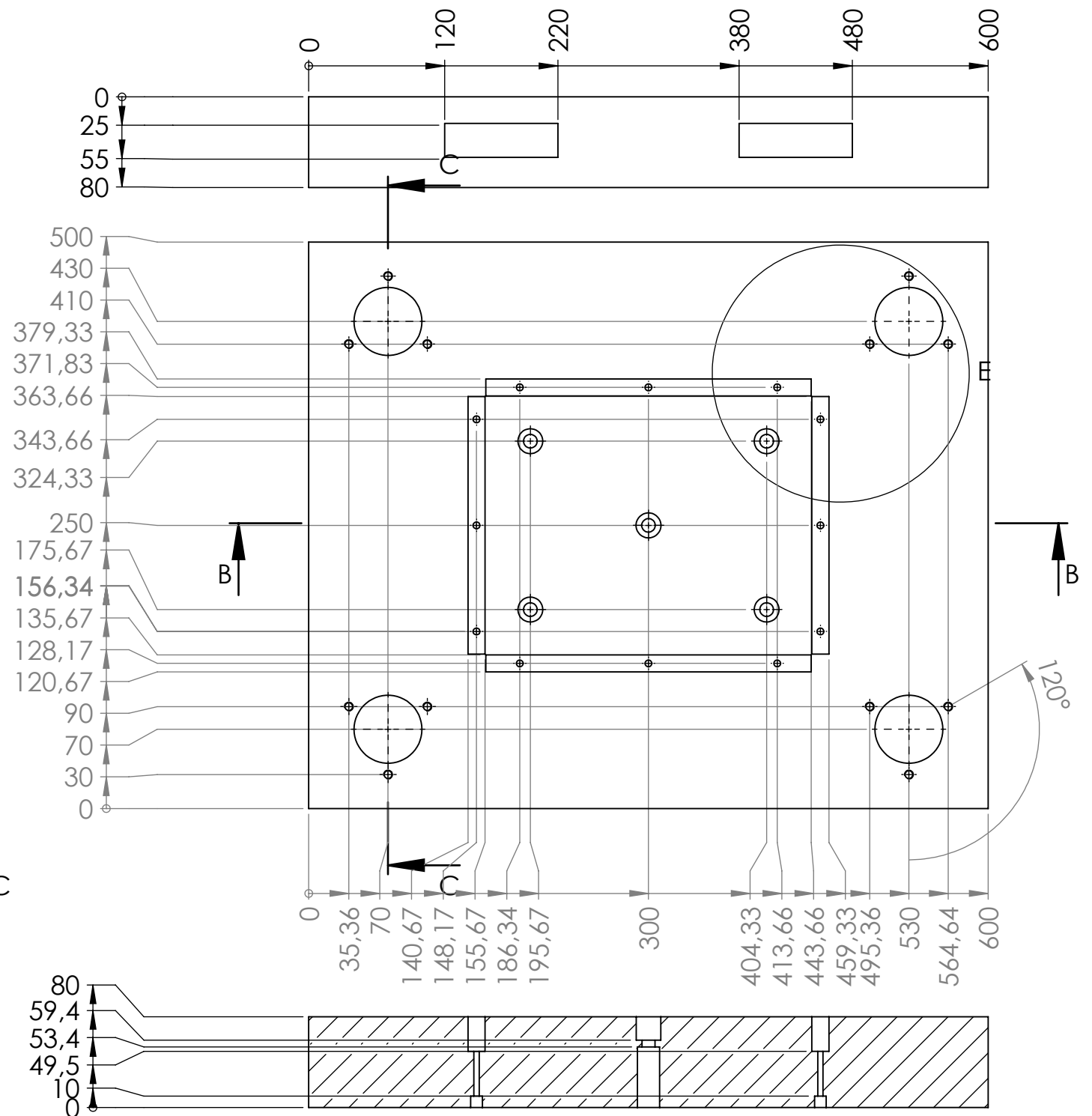
[19] Catalogue du leader en matière de technologie ; société STEINEL.



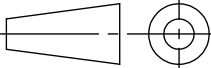
DÉTAIL E
ECHELLE 2 : 5

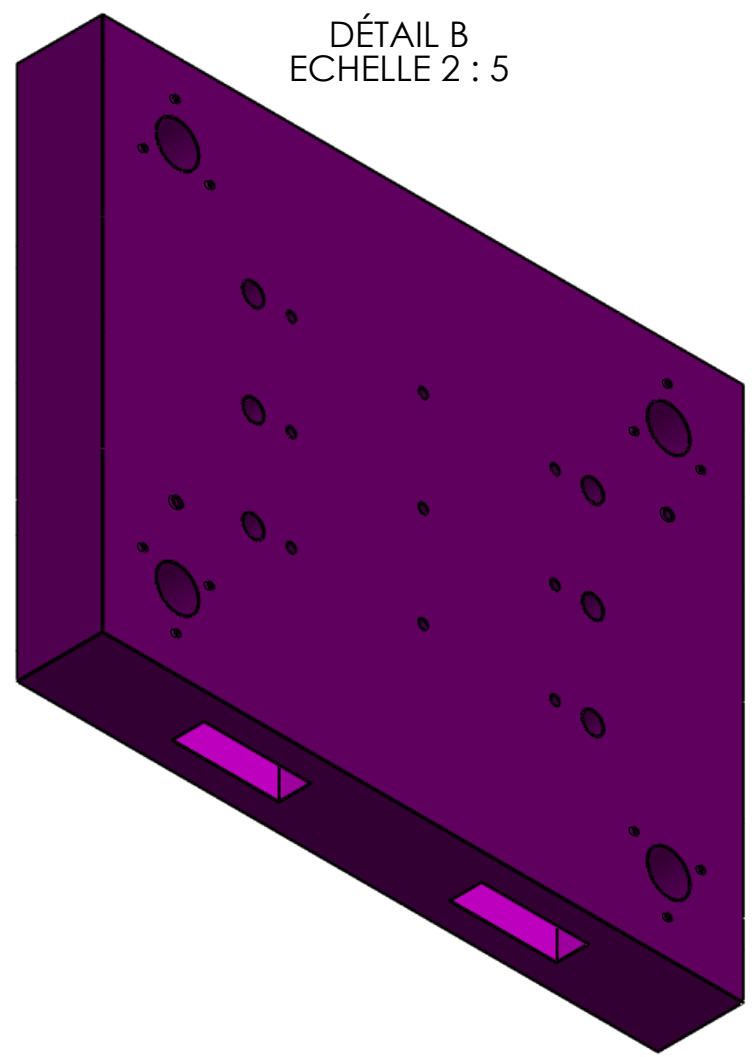
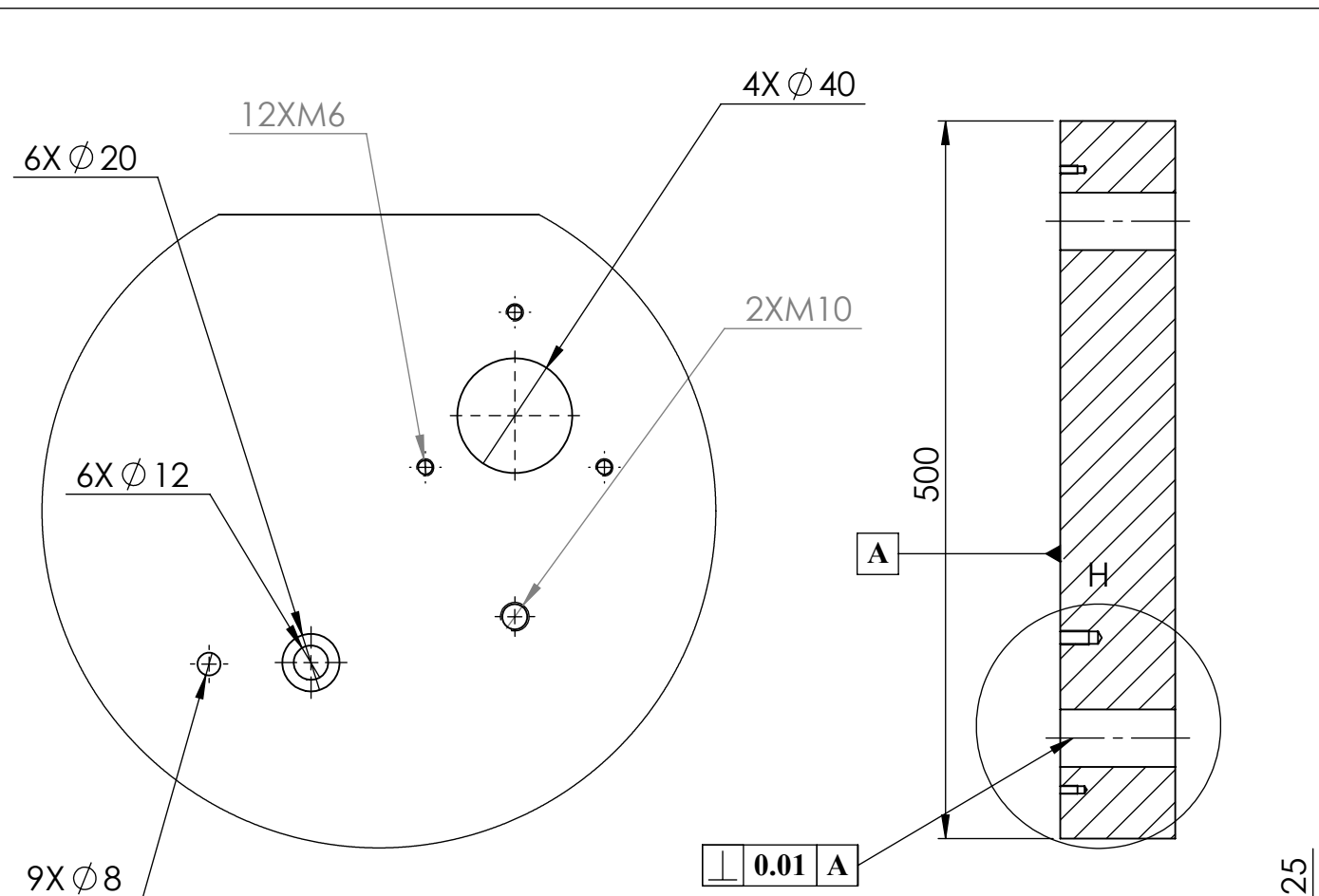


COUPE C-C

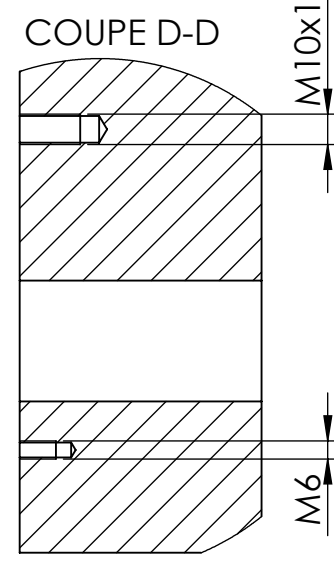


COUPE B-B

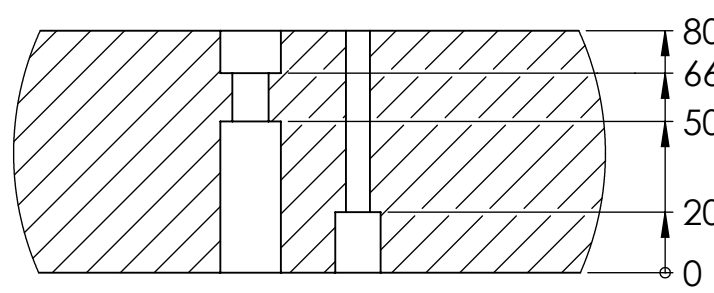
01	01	Semelle supérieure	S235	
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle : 1/5		OUTIL DE PLIAGE		Etat de surface:
Planche N°: 01				3.2/
		KRIM SID-ALI / GUEDJOU LIZA		Promo: 2023/2024
A3		 FGC - DGM - UMMTO		M2 FMP



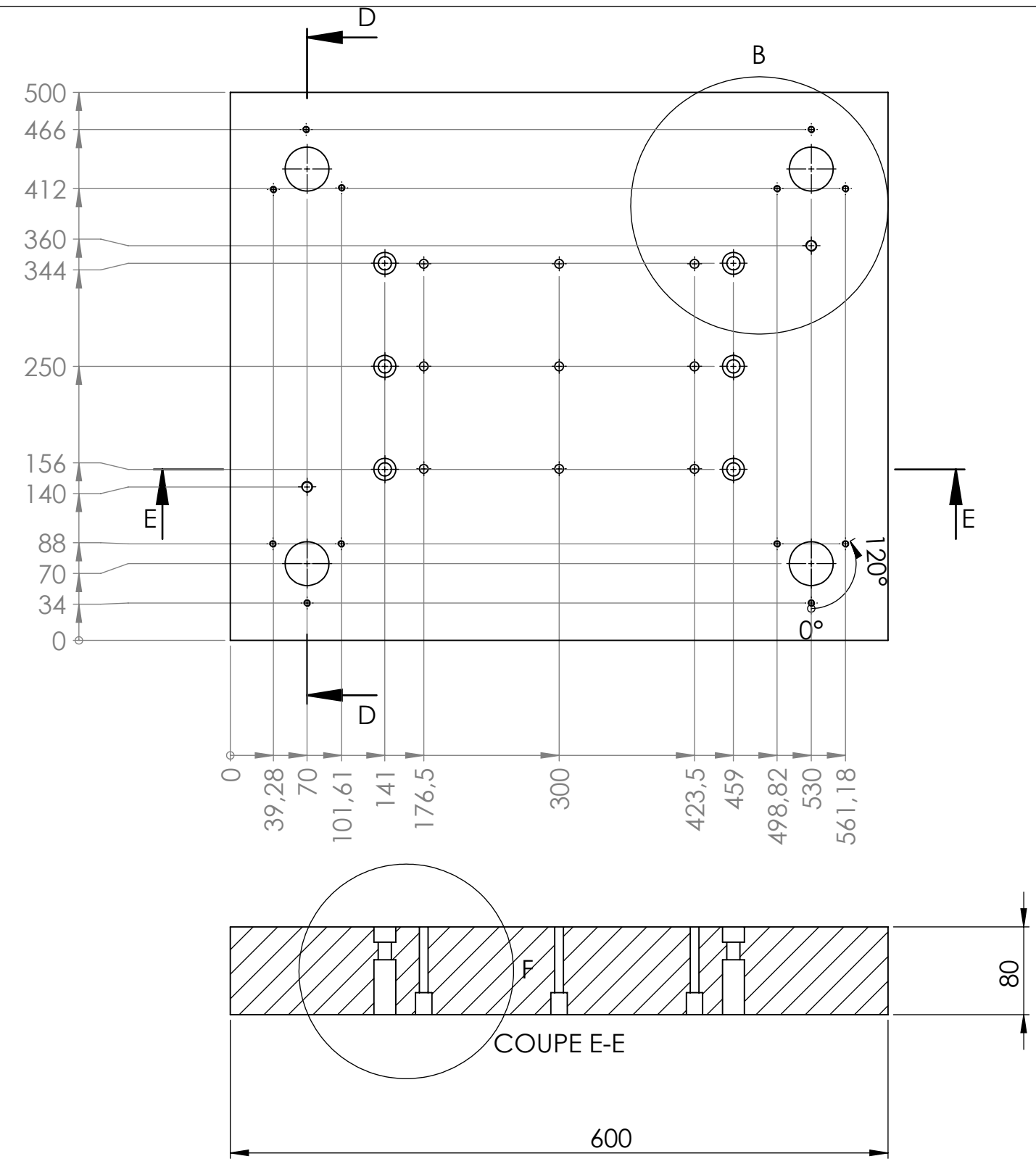
DÉTAIL B
ECHELLE 2 : 5



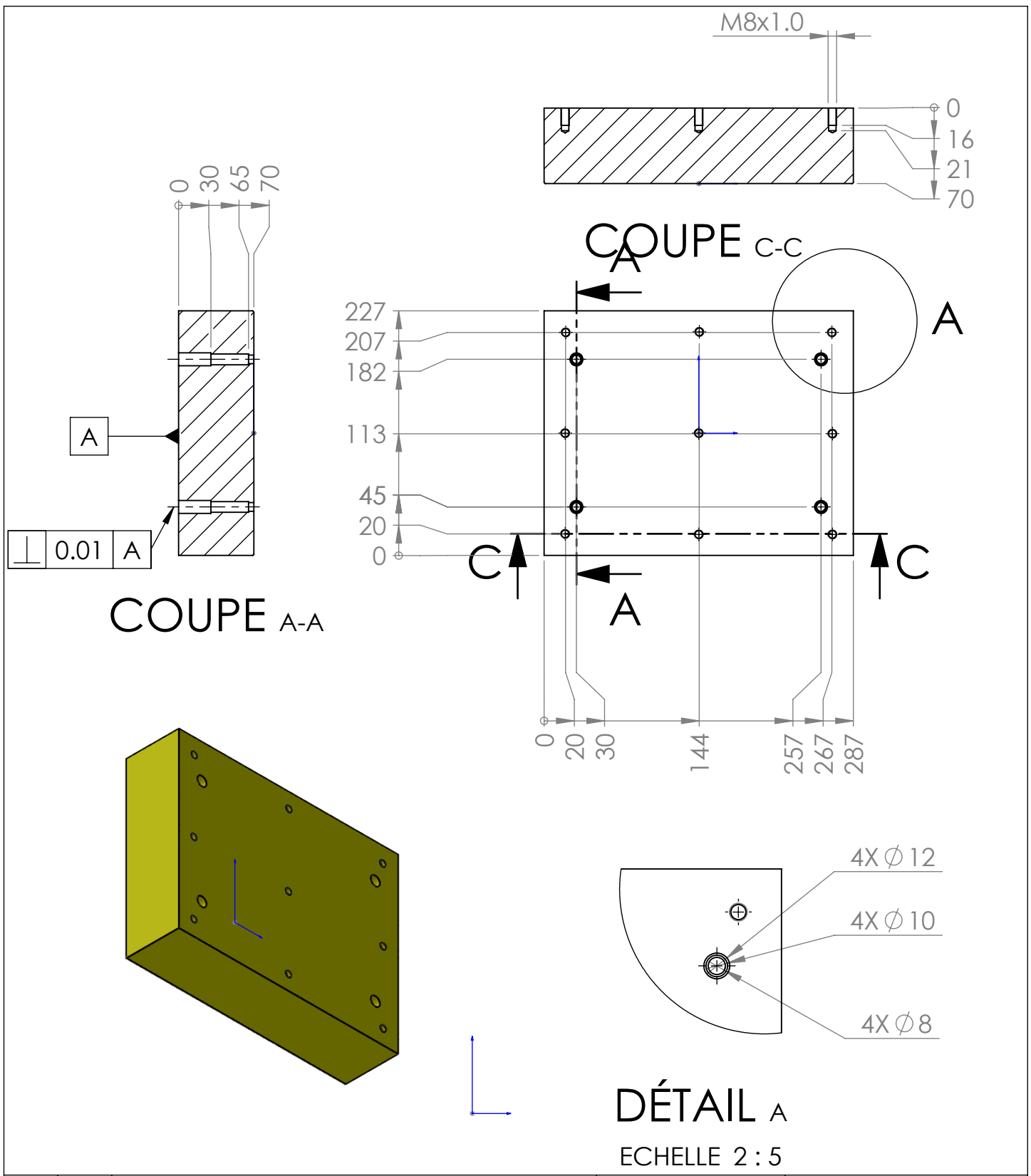
DÉTAIL H
ECHELLE 2 : 5

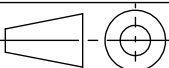


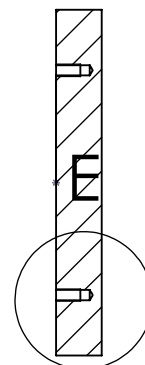
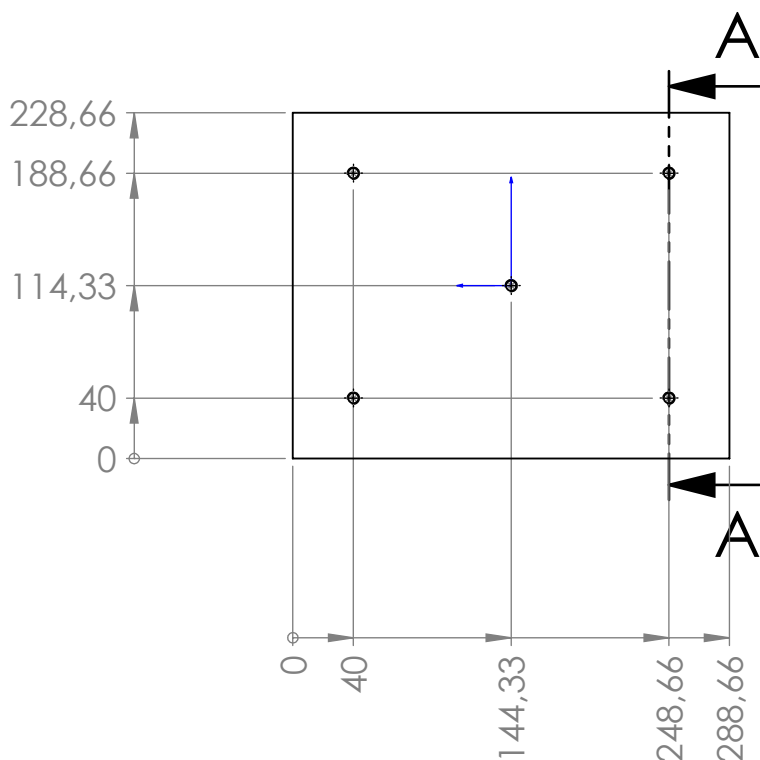
DÉTAIL F
ECHELLE 2 : 5



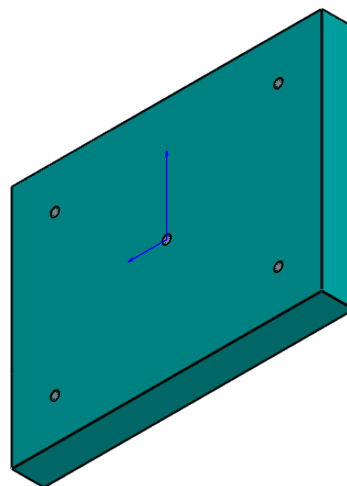
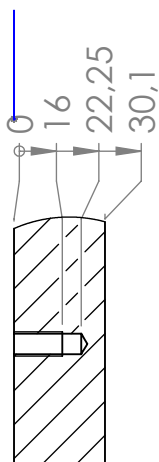
02	01	Semelle inférieure	S235	
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle : 1/5		OUTIL DE PLIAGE		Etat de surface :
Planche N°: 02				3.2/
		KRIM SID-ALI / GUEDJOU LIZA		Promo: 2023/2024
A3		 FGC - DGM - UMMTO		M2 FMP



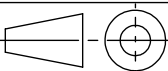
03	001	Matrice	Z200C12	
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle:1/5		OUTI DE PLIAGE		Etat de surface
Planche N°:03				1.6/
		CHALAL MOURAD - SI AMMOUR ANIS		Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO		M2 FMP

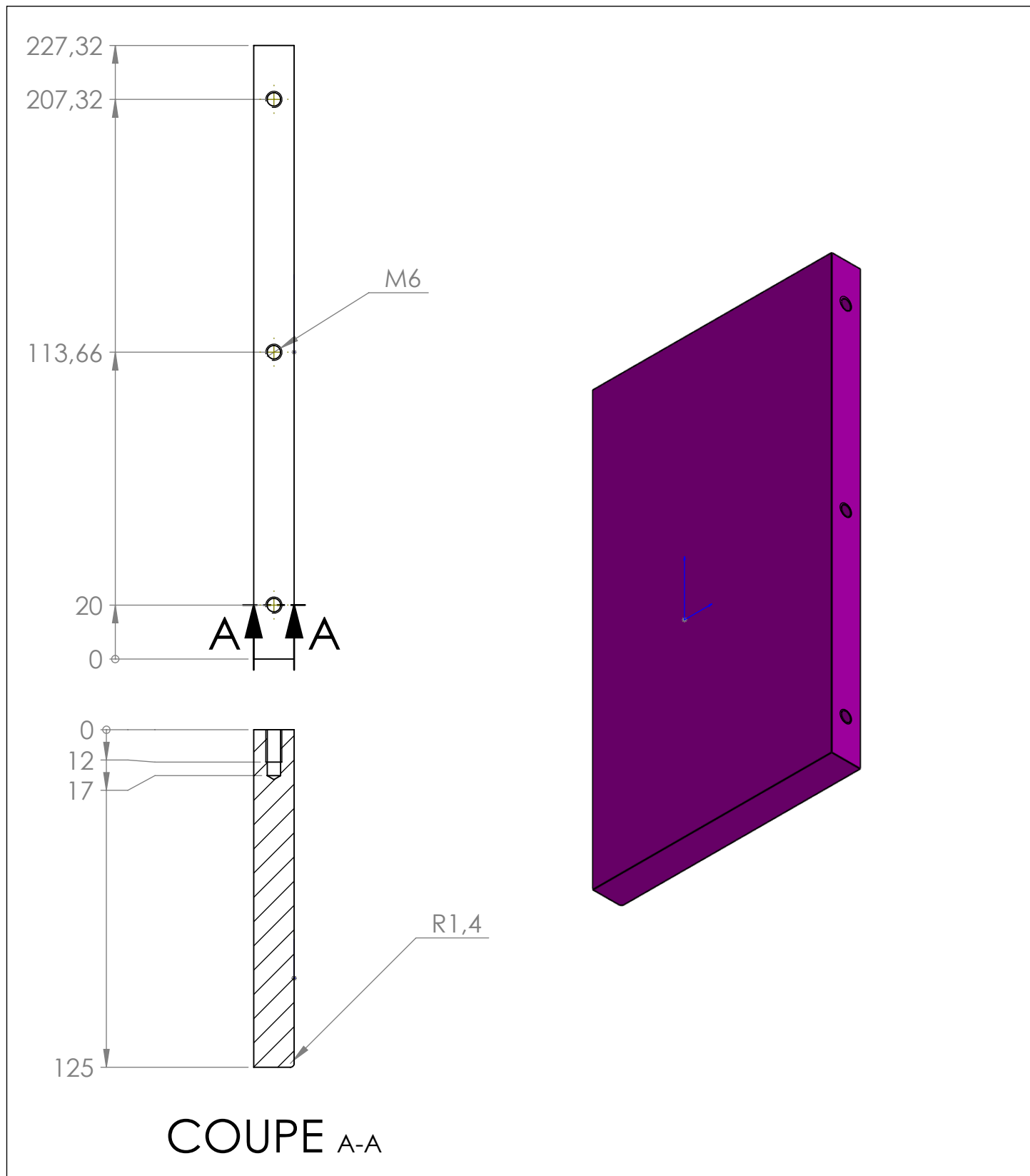


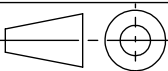
COUPE A-A

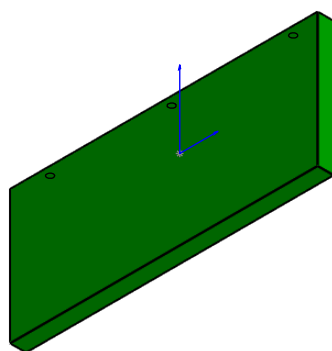
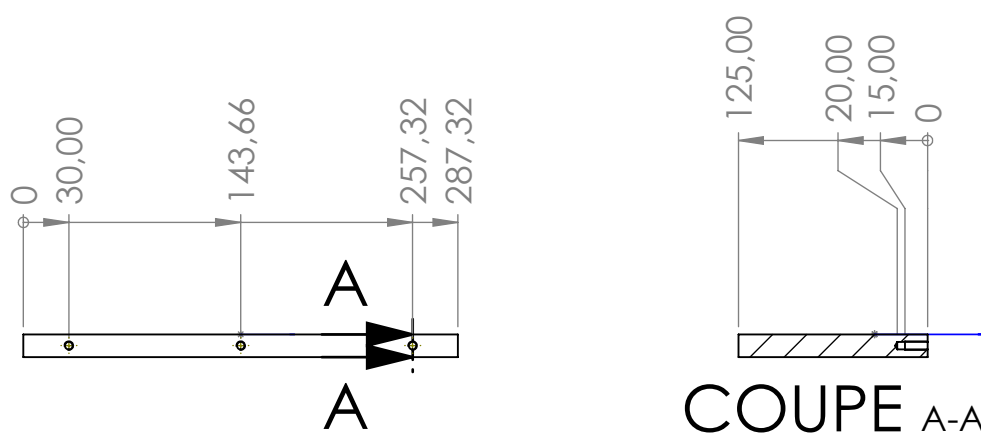


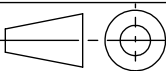
DÉTAIL E
ECHELLE 2 : 5

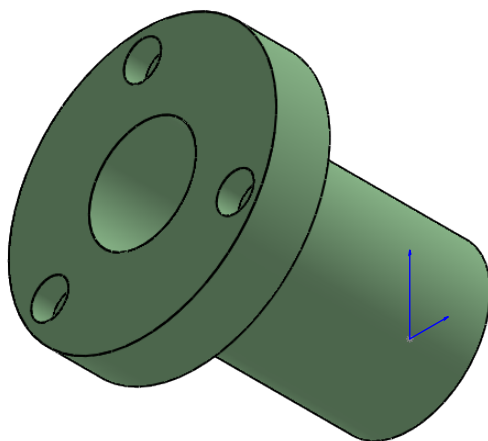
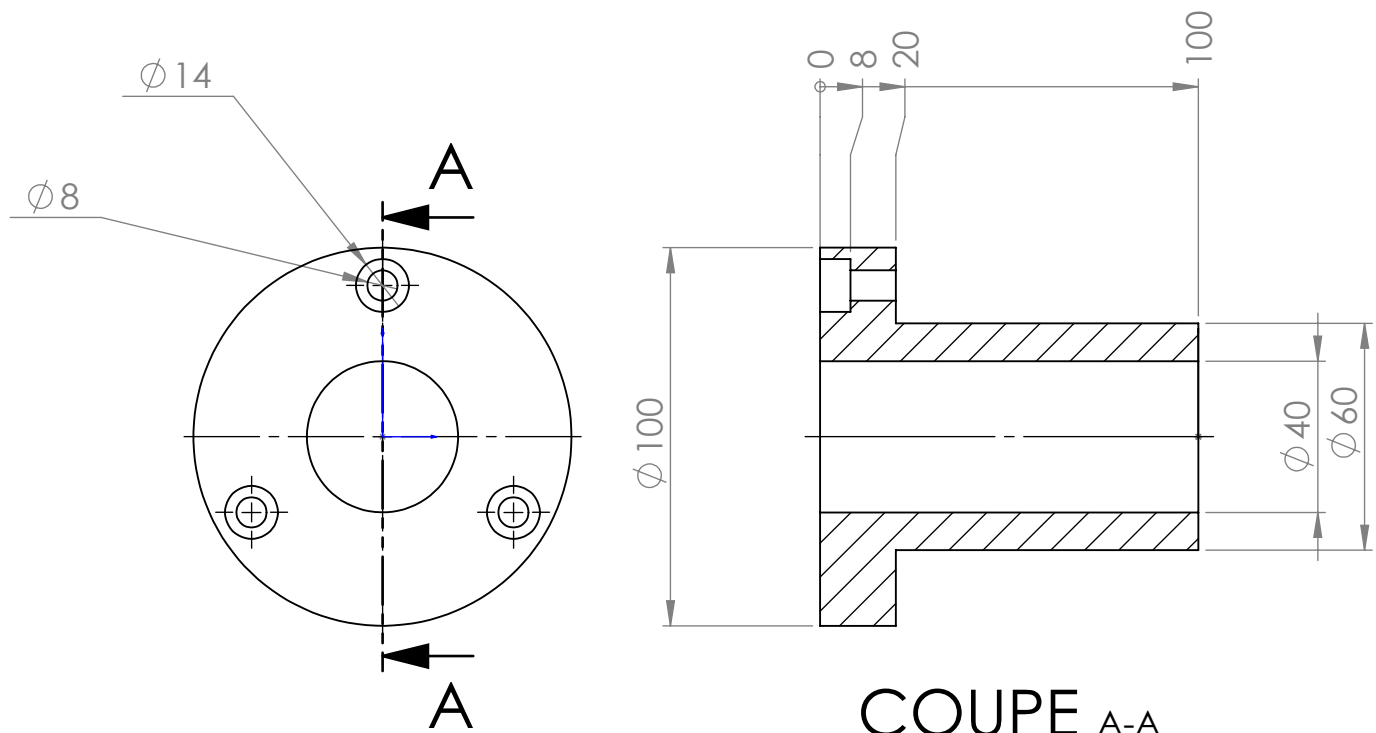
04	01	Serre flan	XC48	
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1/5		OUTIL DE PLIAGE		Etat de surface
Planche N°:04				3.2/
		KRIM SID-ALI / GUEDJOU LIZA		Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO		M2 FMP



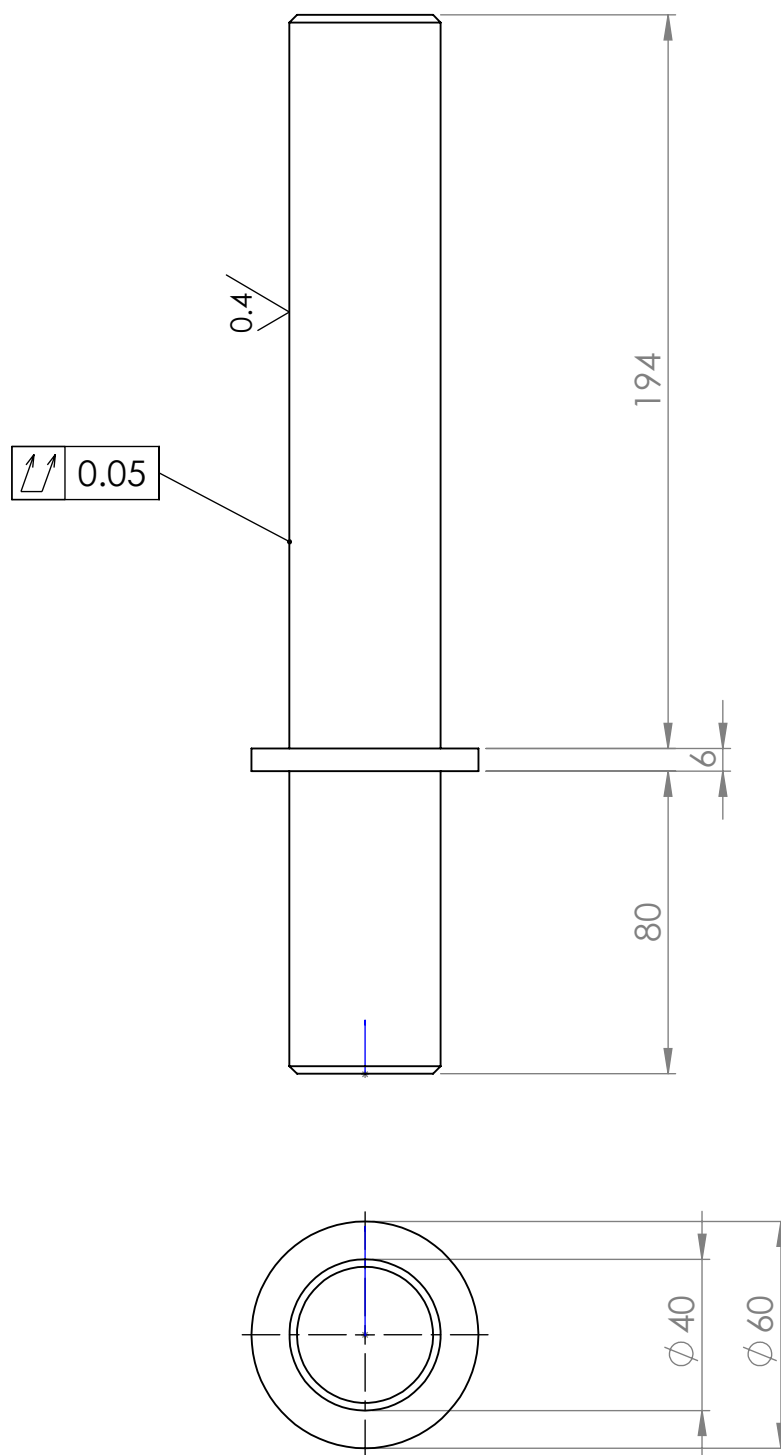
05	2	Poinçon de pliage 1		Z200C12	
Ref	Nbr	Désignation		Matière	Observation
Echelle: 1/2		OUTIL DE PLIAGE			Etat de surface
Planche N°:05					1.6/
		KRIM SID-ALI / GUEDJOU LIZA			Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO			M2 FMP

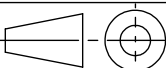


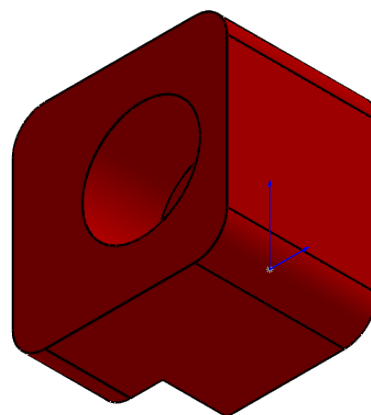
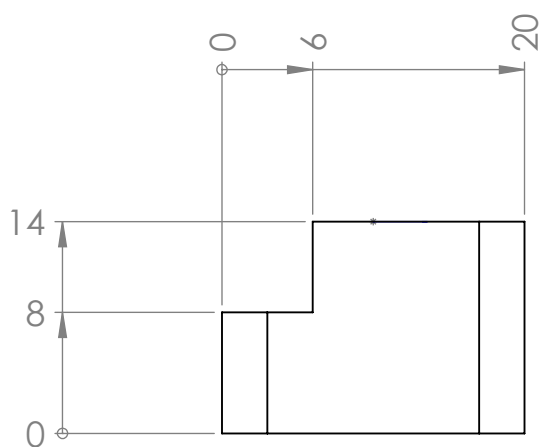
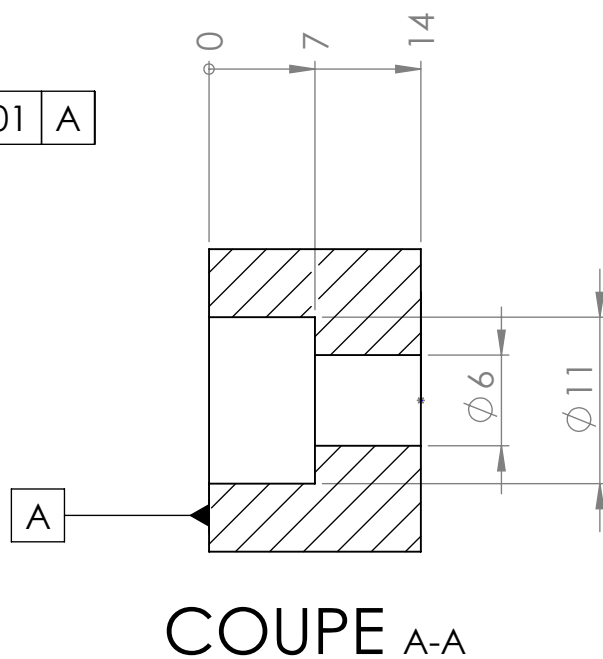
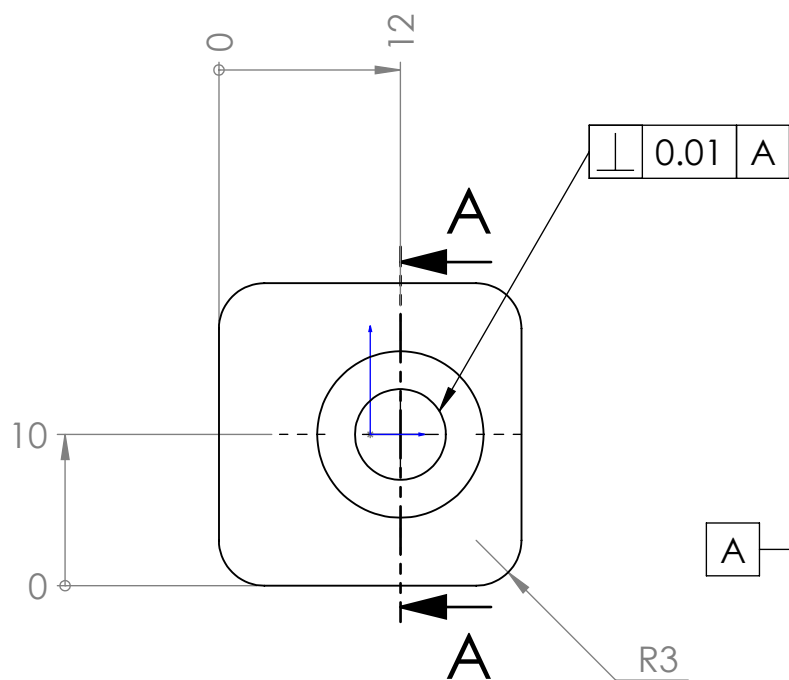
06	Ø2	Poinçon de pliage 2	Z200C12	
Ref	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1/5		OUTIL DE PLIAGE		Etat de surface
Planche N°:06				1.6/
		KRIM SID-ALI / GUEDJOU LIZA		Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO		M2 FMP

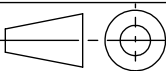


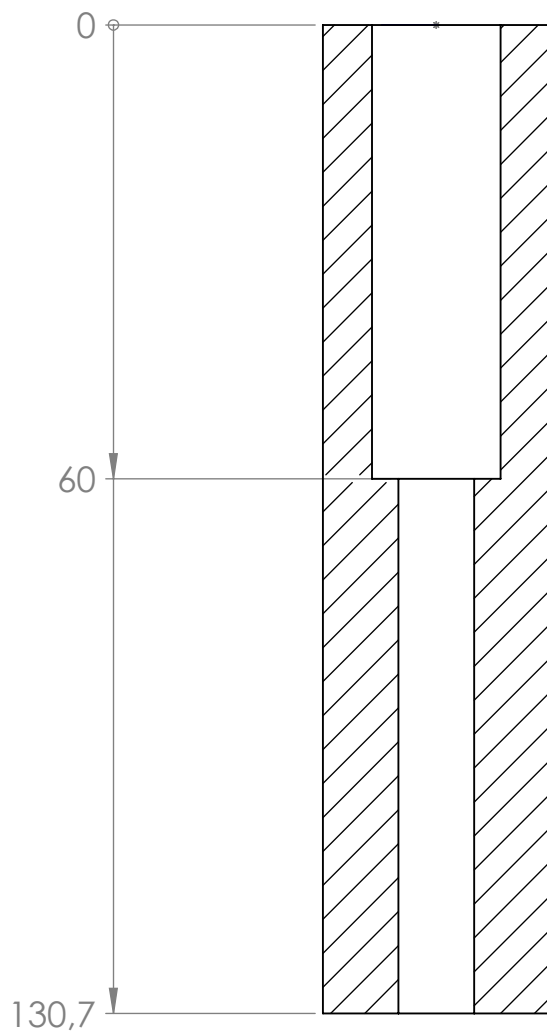
07	04	Embase		Acier trempé à cœur	
Ref	Nbr	Désignation		Matière	Observation
Echelle: 1/2		OUTIL DE PLIAGE			Etat de surface
Planche N°:07					1.6/
		CHALAL MOURAD - SI AMMOUR ANIS			Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO			M2 FMP



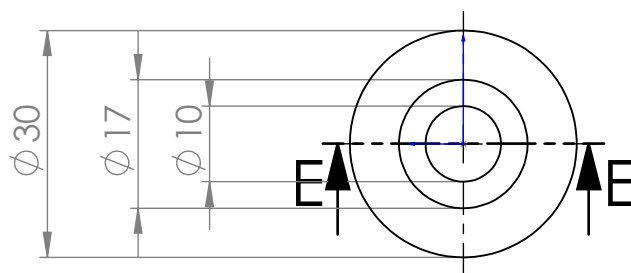
08	04	Colonne de guidage		C60E	
Ref	Nbr	Désignation		Matière	Observation
Echelle: 1/2		OUTIL DE PLIAGE			Etat de surface
Planche N°:08					0.4/
		KRIM SID-ALI / GUEDJOU LIZA			Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO			M2 FMP

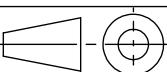


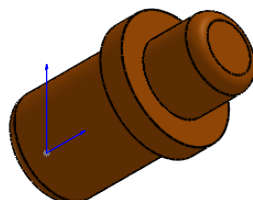
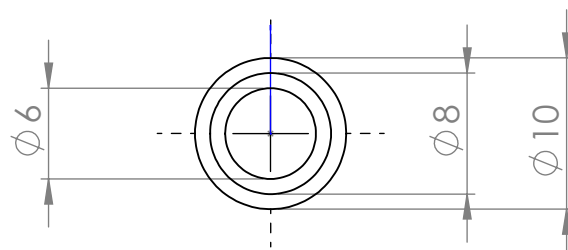
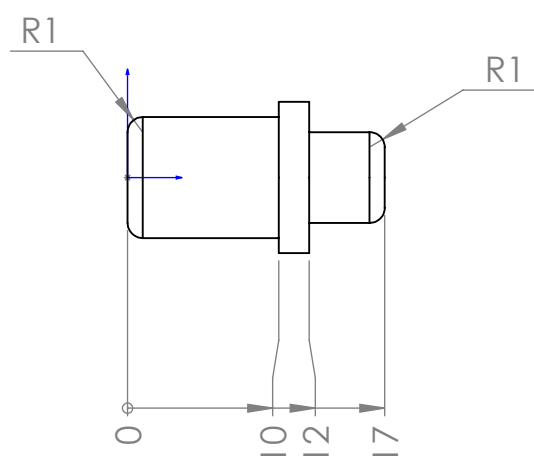
09	12	Bride		Z200C12	
Ref	Nbr	Désignation		Matière	Observation
Echelle: 2/1		OUTIL DE OLIAGE			Etat de surface
Planche N°:09					3.2/
		KRIM SID-ALI / GUEDJOU LIZA			Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO			M2 FMP

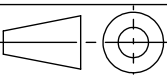


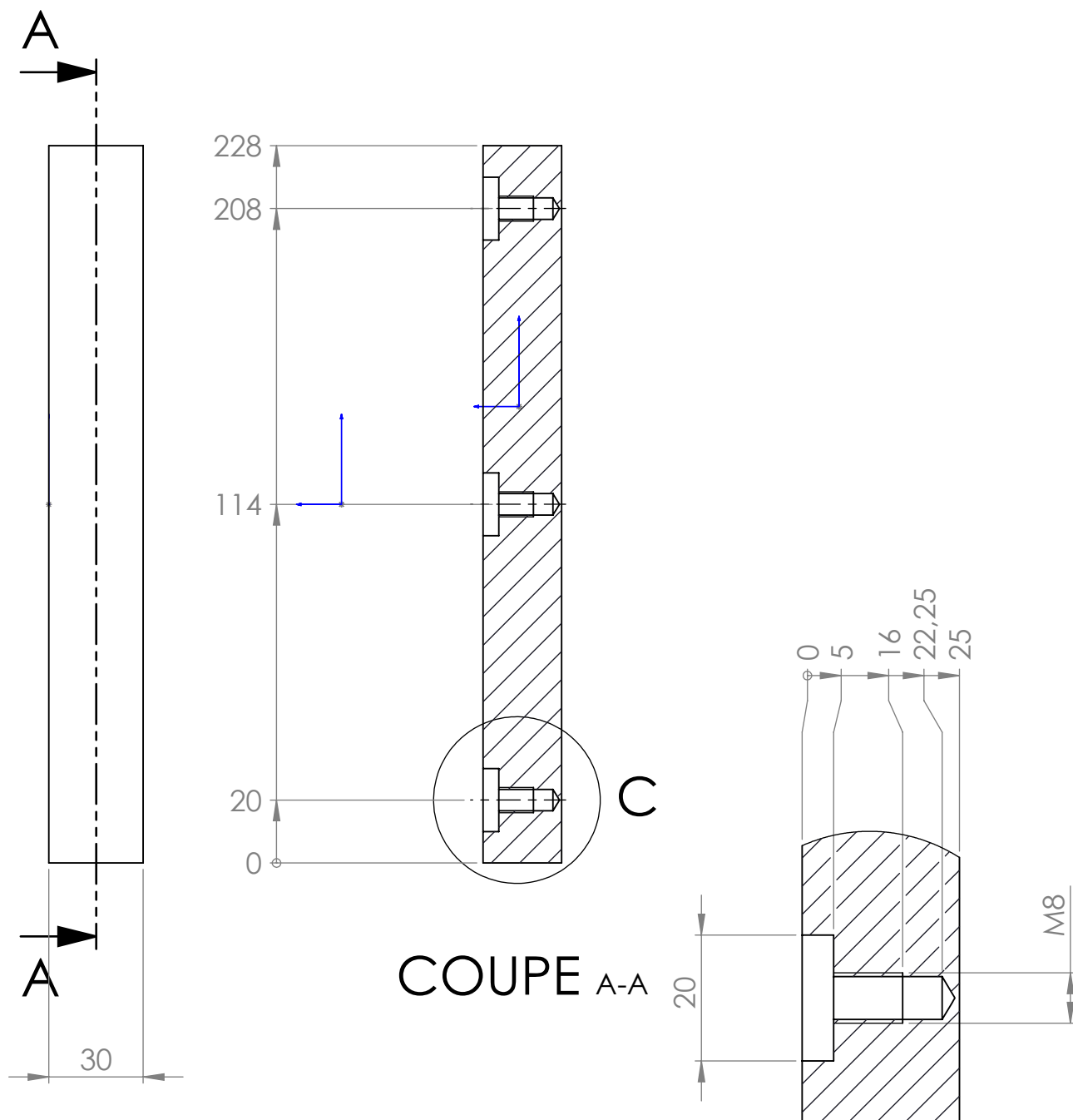
COUPE E-E
ECHELLE 1 : 1



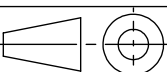
10	02	Butée de fin de course		XC 38	
Ref	Nbr	Désignation		Matière	Observation
Echelle: 1/1		OUTIL DE PLIAGE			Etat de surface 6.3/
Planche N°:10					
		KRIM SID-ALI / GUEDJOU LIZA			Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO			M2 FMP

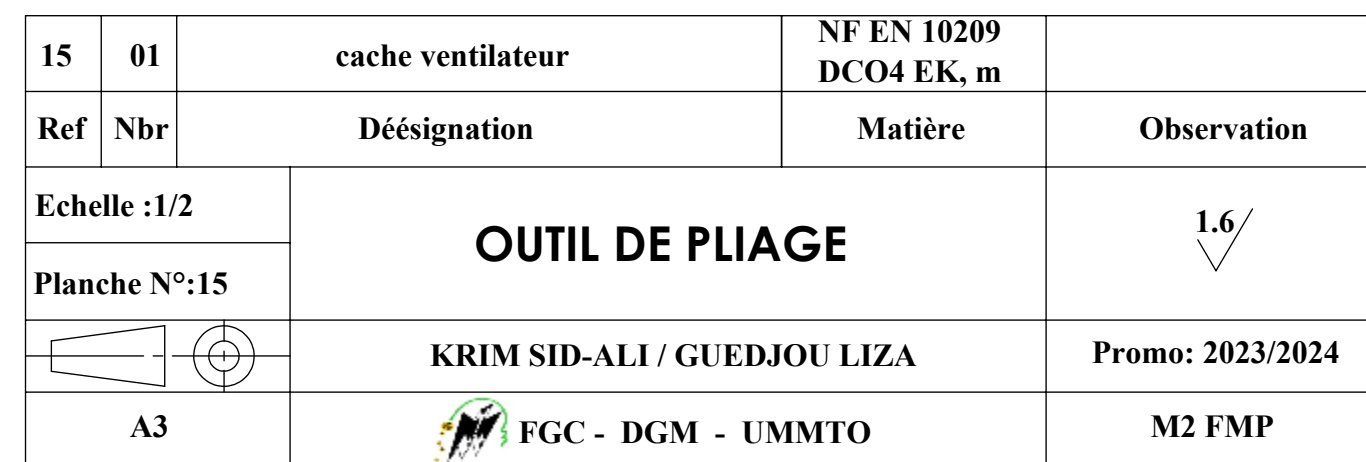
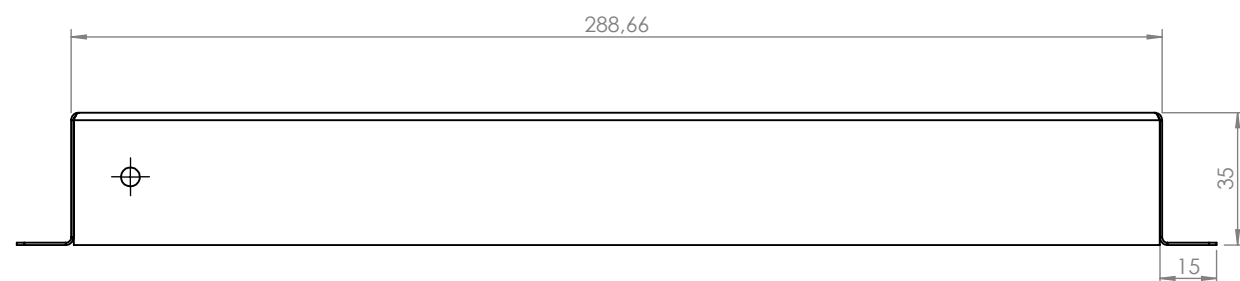


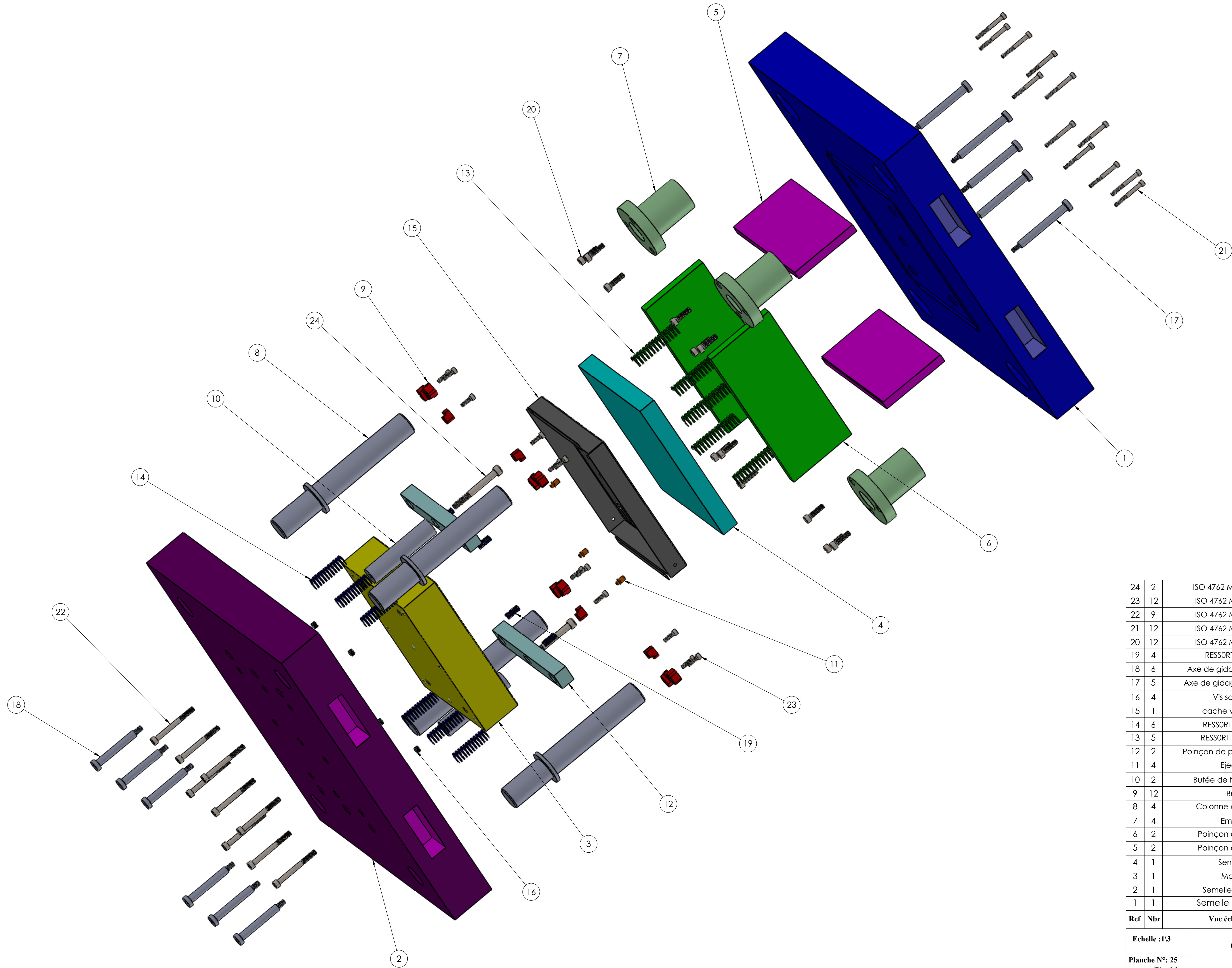
11	4	Ejecteur		E24	
Ref	Nbr	Désignation		Matière	Observation
Echelle: 2/1		OUTIL DE PLIAGE			Etat de surface
Planche N°:11					3.2/ 
		KRIM SID-ALI / GUEDJOU LIZA			Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO			M2 FMP

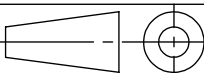


DÉTAIL C
ECHELLE 1 : 1

12	02	Poinçon de pliage inférieure		Z200C12	
Ref	Nbr	Désignation		Matière	Observation
Echelle: 1/2		OUTIL DE PLIAGE			Etat de surface
Planche N°:12					1.6/
		KRIM SID-ALI / GUEDJOU LIZA			Promo : 2023/2024
A4		 FGC DGM UMMTO			M2 FMP





24	2	ISO 4762 M10 x 90 - 32S	\	
23	12	ISO 4762 M6 x 20 - 20S	\	
22	9	ISO 4762 M8 x 80 - 28S	\	
21	12	ISO 4762 M6 x 55 - 24S	\	
20	12	ISO 4762 M8 x 30 - 30S	\	
19	4	RESSORT Ejecteur	\	
18	6	Axe de guidage inférieure	C60E	
17	5	Axe de guidage supérieure	C60E	
16	4	Vis sans tête	\	
15	1	cache ventilateur	NF EN 10209 DCO4,m	
14	6	RESSORT inférieure	\	
13	5	RESSORT supérieure	\	
12	2	Poinçon de pliage inférieure	Z200C12	
11	4	Ejecteur	E24	
10	2	Butée de fin de course	S235	
9	12	Bride	Z200C12	
8	4	Colonne de guidage	C60E	
7	4	Embase	C60E	
6	2	Poinçon de pliage 2	Z200C12	
5	2	Poinçon de pliage 1	Z200C12	
4	1	Serre flan	XC48	
3	1	Matrice	Z200C12	
2	1	Semelle inférieure	S235	
1	1	Semelle supérieure	S235	
Ref	Nbr	Vue éclatée	Matière	Observation
Echelle :1/3		OUTIL DE PLIAGE		Etat de surface
Planche N°: 25				3.2/
		KRIM SID-ALI / GUEDJOU LIZA		Promo: 2023/2024
A1		 FGC - DGM - UMMTO		M2 FMP