

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Département du Génie Mécanique



*Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme de
master professionnel en Génie Mécanique*

Option : Fabrication Mécanique et productique

Thème :

*Etude et conception d'un outil d'emboutissage pour
plaque d'immatriculation automobile*

Réalisé par :
RAMOUL Lyes

Sous la direction de :
Dr ASMA Farid

Présenté et soutenu publiquement le : 05 /10/2017

Composition du jury :

Président :	OULD OUALI Mohand	Professeur	UMMTO
Promoteurs :	ASMA Farid	Docteur	UMMTO
Examineur	ZIANI Hocine	Docteur	UMMTO

2016 / 2017

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

- *Mon chère père, ma très chère mère pour leurs sacrifices, leurs dévouements pour mon bonheur, et leurs soutien dans ma vie*
- *Mes sœurs*
- *Mon chère frère KARIM*
- *Mes adorables nièces ELINE et NADINE*
- *Mes chères amis (es) qui ont toujours étaient la pour moi*
- *Mon Oncle " VAVA Mouh" et mes cousins*
- *Ma Biemme aimée*

LYES

Remerciements

Je tiens en premier lieu à remercier le Bon Dieu pour le courage et la patience qui m'a donné afin de mener ce projet à terme.

Le projet de fin d'études présenté dans ce manuscrit a été réalisé en collaboration avec l'Entreprise SOFICLEF, je tiens à remercier le directeur de l'unité de production monsieur BOUBNIA Ahmed pour son aide et ses encouragements tout le long de l'élaboration du mémoire ainsi tous le personnel de l'unité.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur BENIDIR Smail Co- encadreur de ce projet, ingénieur au bureau d'études de l'entreprise, pour ses conseils judicieux et ses observations pertinentes, pour son aide et son orientation, tout au long de ce travail.

Je tiens à remercier tout particulièrement, mon promoteur Docteur ASMA Farid, qui a encadré au quotidien mon travail. Sa très grande disponibilité a rendu cette thèse particulièrement agréable. Son expertise, ainsi que ses conseils avisés ont été très formateurs et d'un très grand secours, au cours de ce projet, ce qui m'a aidé et soutenu tout le long de mon travail.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers les membres du jury qui ont eu la lourde tâche, d'examiner ce mémoire.

Je remercie sincèrement tout l'ensemble des enseignants qui ont contribué à ma formation, et je remercie ainsi, l'ensemble d'étudiants du département de Génie mécanique de l'U.M.M.T.O, pour leurs soutiens, et leur bonne ambiance qui m'a beaucoup aidé.

Enfin, mes remerciements vont à tous ceux qui, de près ou de loin, ont aidé à l'élaboration de ce projet, en particulier mes parents, mes amis(es), et mes très chers camarades.

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

Chapitre I: Historique..... - 3 -

I.1	HISTORIQUE DE SOFICLEF.....	- 4 -
I.1.1	Activité.....	- 7 -
I.1.2	Base Logistique.....	- 8 -
I.1.3	Operateur Economique Agrée.....	- 8 -
I.1.4	Garantie.....	- 9 -
I.1.5	ORGANIGRAMME DE SOFICLEF.....	- 10 -
I.2	HISTORIQUE DE LA PLAQUE D'IMMATRICULATION.....	- 11 -
I.2.1	L'histoire de la plaque d'immatriculation.....	- 11 -
I.2.2	La plaque d'immatriculation en ALGERIE.....	- 12 -
I.2.3	Quelques exemples de plaques algériennes à travers l'histoire.....	- 14 -
I.2.4	Images illustrant quelques plaques d'immatriculation algériennes.....	- 15 -
I.3	Présentation de la pièce.....	- 16 -
I.3.1	Plaque d'immatriculation véhicule simple PR/SF-520-110B.....	- 16 -
I.3.2	Plaque d'immatriculation véhicule simple PR/SF-520-110J.....	- 17 -

Chapitre II: L'aluminium et ses alliages.....- 18 -

II.1	Historique et fabrication de l'aluminium.....	- 19 -
II.2	Généralités sur l'aluminium.....	- 22 -
II.3	Mise en œuvre.....	- 24 -
II.3.1	Traitements thermiques.....	- 24 -
II.3.2	Traitements de surface.....	- 24 -
II.3.3	Anodisation.....	- 24 -
II.3.4	Recyclabilité.....	- 24 -
II.4	Alliages de fonderie.....	- 25 -
II.4.1	Aluminium – Silicium.....	- 25 -
II.4.2	Aluminium – Magnésium.....	- 27 -
II.4.3	Aluminium – cuivre.....	- 28 -
II.5	Alliage de corroyage.....	- 30 -

II.5.1	Aluminium pur : Série 1000.....	- 30 -
II.5.2	Aluminium – cuivre : Série 2000.....	- 31 -
II.5.3	Aluminium – Manganèse : Série 3000.....	- 31 -
II.5.4	Aluminium – Silicium : Série 4000	- 31 -
II.5.5	Aluminium – Magnésium : Série 5000	- 31 -
II.5.6	Aluminium – Magnésium – Silicium : Série 6000	- 31 -
II.5.7	Aluminium – Zinc : Série 7000.....	- 32 -
II.5.8	Autres alliages d’aluminium : Série 8000	- 32 -
II.5.9	Caractéristiques générales des alliages corroyés	- 33 -
II.6	Forme des produits	- 33 -
II.6.1	Produits longs	- 33 -
II.6.2	Produits plats.....	- 34 -
Chapitre III: Procédés de mise en forme des matériaux		- 35 -
III.1	L’emboutissage.....	- 36 -
III.1.1	Outillage	- 36 -
III.1.2	Fonctionnement	- 37 -
III.2	Types d’emboutissage.....	- 39 -
III.2.1	L’emboutissage à froid :	- 39 -
III.3	Différents types d’essai standard d’emboutissage	- 40 -
III.3.1	Essai Swift.....	- 40 -
III.3.2	Essai Nakazima	- 41 -
III.3.3	Essai Marciniak	- 42 -
III.3.4	Essai Erichsen.....	- 43 -
III.3.5	Essai de gonflement hydraulique	- 43 -
III.4	Paramètre d’emboutissage	- 45 -
III.4.1	Paramètres lié à la presse.....	- 45 -
III.4.2	Les avantages et les inconvénients de ce procédé.....	- 50 -
III.5	Le pliage.....	- 51 -
III.5.1	Principe du pliage	- 51 -
III.5.2	Les différents modes de pliage	- 52 -
III.5.3	Le retour élastique	- 53 -
III.5.4	Effort de pliage	- 54 -
III.6	Le découpage.....	- 54 -
III.6.1	Principe.....	- 54 -

III.6.2	Eléments principaux constituant un outil de découpe.....	- 55 -
III.6.3	Quelques Types de découpage	- 55 -
III.6.4	Effort de découpage et d'extraction	- 58 -
III.6.5	Contraintes sur les poinçons	- 59 -
III.7	Le poinçonnage	- 61 -
III.7.1	Principe.....	- 62 -
III.7.2	Application.....	- 63 -
III.7.3	Avantages et inconvénients du poinçonnage	- 65 -
Chapitre IV: Etude et conception de l'outil.....		- 67 -
IV.1	Cahier des charges.....	- 68 -
IV.1.1	Composition chimique du matériau	- 68 -
IV.1.2	Emplacement de la pièce	- 68 -
IV.2	Processus de fabrication	- 69 -
IV.3	Calcul des efforts	- 70 -
IV.3.1	Calcul de l'effort de découpage.....	- 70 -
IV.3.2	Effort d'emboutissage	- 71 -
IV.3.3	Calcul des poinçons à la compression	- 74 -
IV.4	Calcul de l'effort total.....	- 77 -
IV.4.1	Choix de la presse à utilisée	- 78 -
IV.5	Conception de l'outil	- 78 -
IV.5.1	Partie inférieure.....	- 78 -
IV.5.2	Partie supérieure	- 81 -
IV.6	Mise en plan	- 81 -
Conclusion générale		- 84 -
Bibliographie :.....		- 86 -
Annexes		- 87-

Figure I-1 Direction générale	- 8 -
Figure I-2 Zone de stockage	- 9 -
Figure I-3 chaîne de montage	- 9 -
Figure I-4 Ancienne plaque	- 12 -
Figure I-5 Codes des plaques d'immatriculation de l'Algérie Française puis Indépendante	- 13 -
Figure I-6 Quelques exemples de plaques algériennes à travers l'histoire	- 14 -
Figure I-7I.2.4 Images illustrant quelques plaques d'immatriculation algériennes.....	- 15 -
Figure I-8 Plaque d'immatriculation véhicule d'identification avant	- 16 -
Figure I-9 Plaque d'immatriculation véhicule d'identification arrière	- 17 -
Figure II-1 Boîte d'emballage type "cola cola"	- 25 -
Figure II-3 Diagramme d'équilibre Aluminium – Silicium	- 26 -
Figure II-4 Diagramme d'équilibre Aluminium – cuivre.....	- 29 -
Figure III-1 Procédé d'emboutissage	- 36 -
Figure III-2 Outillages d'emboutissage.....	- 37 -
Figure III-3 Opérations d'emboutissage.....	- 38 -
Figure III-4 L'emboutissage à froid.....	- 39 -
Figure III-5 L'emboutissage à chaud	- 40 -
Figure III-6 Essai Swift	- 41 -
Figure III-7 Essai Nakazima.....	- 41 -
Figure III-8 Essai Marciniak	- 42 -
Figure III-9 Essai Erichsen.....	- 43 -
Figure III-10 Essai gonflement hydraulique.....	- 44 -
Figure III-11 Variation de l'arrondi sur la matrice	- 45 -
Figure III-12 Principe de pliage	- 51 -
Figure III-13 Pliage en V.....	- 52 -
Figure III-14 Pliage en U.....	- 53 -
Figure III-15 Pliage en L.....	- 53 -
Figure III-16 Principe de découpage	- 55 -
Figure III-17 Le grignotage	- 56 -
Figure III-18 Crevage	- 56 -
Figure III-19 Ajourage	- 57 -
Figure III-20 Détournage. Dans ce cas enlever ce qui est en dehors du rectangle	- 57 -
Figure III-21 Soyage	- 58 -
Figure III-22 Contrainte de compression sur le poinçon.....	- 60 -
Figure III-23 L'état d'un flambement du poinçon de découpage.....	- 61 -
Figure III-24 Poinçonnage d'une tôle.....	- 61 -
Figure III-25 Les différentes phases de poinçonnage.....	- 62 -
Figure III-26 Poinçon	- 63 -
Figure III-27 Matrice.....	- 64 -
Figure III-28 Le jeu entre le poinçon et la matrice.....	- 64 -
Figure III-29 Périmètre de découpage	- 65 -
Figure IV-1 Emplacement de la pièce	- 69 -
Figure IV-2 Moule à emboutissage	- 69 -
Figure IV-3 Mesure du périmètre du poinçon	- 71 -
Figure IV-4 Mesure du périmètre du poinçon d'emboutissage.....	- 73 -

Liste des figures

Figure IV-5 Mesure de la surface S1 du poinçon..... - 74 -
Figure IV-6 Mesure de la, surface S2 de la pièce rapporté - 75 -
Figure IV-7 Mesure de la, surface S3 du poinçon d'emboutissage..... - 76 -
Figure IV-8 Mesure de la, surface S4 de la matrice - 77 -

Tableau II-1 les flux de production.....	- 20 -
Tableau II-2 Les teneurs en pourcentage des différents oxydes	- 21 -
Tableau II-3 les caractéristiques de l'aluminium.....	- 22 -
Tableau II-5 Quelques caractéristiques générales pour les alliages de fonderie et ceux de corroyage -	23 -
Tableau II-6 donne les principales caractéristiques des alliages courants de fonderie.	- 26 -
Tableau II-7 Les principales caractéristiques des alliages courants de fonderie.....	- 27 -
Tableau II-9 Les principales caractéristiques des alliages courants de fonderie	- 28 -
Tableau II-10 donne les principales caractéristiques des alliages courants de fonderie.	- 28 -
Tableau II-11 Les principales caractéristiques des alliages courants de fonderie.....	- 29 -
Tableau II-12 Caractéristiques et utilisation des alliages Aluminium – Zinc	- 30 -
Tableau II-13 Caractéristiques générales des alliages corroyés	- 33 -
Tableau III-1 Le coefficient K en fonction de d/D	- 48 -
Tableau III-2 : Matériaux du flan et leurs pressions spécifiques	- 48 -
Tableau III-3 les fonctions du lubrifiant et les problèmes scientifiques rencontrés en emboutissage.-	49 -
Tableau III-4 Résistance au cisaillement (Rc) de quelques matériaux	- 59 -
Tableau IV-1 Caractéristique chimique du matériau	- 68 -

Introduction générale

La conception et la production des pièces en tôles représentent aujourd'hui l'intérêt d'un bon nombre de sociétés industrielles de ce secteur, vu leur diversité d'utilisation dans le domaine électronique, électrique, construction marine, construction automobile, aéronautique, ... etc. Cet intérêt découle de nombreux avantages technico-économiques procurés par l'aluminium, et de ces caractéristiques qui répondent aux exigences d'utilisation de produits fabriqués à partir de ces alliages.

Chacun sait que l'aluminium, sous sa forme pure ou dans des alliages, est l'un des métaux les plus utiles sur la planète de par sa polyvalence, sa légèreté, son faible coût de production et son esthétique. Le succès de l'industrie de l'aluminium repose en grande partie sur sa capacité d'innovation et de sa capacité à se positionner comme le métal par excellence dans le domaine du développement durable.

Chaque pièce sous forme de tôle n'est produite qu'après une étude complète des différentes tâches dont les principales sont la conception et la fabrication.

Le bureau d'études de l'entreprise SOFICLEF nous a confié, dans le cadre de la réalisation de notre projet de fin d'études, la conception d'un moule d'emboutissage pour la plaque d'immatriculation automobile par le procédé d'emboutissage en utilisant l'alliage d'aluminium 1050 H42. Cette étude est divisée en quatre principaux chapitres :

Dans le premier chapitre, on présente l'aspect général des alliages d'aluminium. Ensuite, dans le deuxième chapitre, on présentera quelques procédés de mise en forme des matériaux.

La conception du moule de l'étude et les calculs de vérifications correspondants seront traités dans le troisième chapitre.

Le dossier technique contenant les dessins de définition des différentes pièces ainsi que le dessin d'ensemble, constitue la dernière partie de ce travail.

Chapitre I: Historique

I.1 HISTORIQUE DE SOFICLEF

Tout a commencé un certain 21 Juin 1994, dans un local de 7 m² situé au 39 Rue Ahmed Boumaazouza El Madania « Ex Salembier » Alger. Où la première activité était la confection des ébauches de clés.

1995

Vu le manque des distributeurs à cette époque, Il a été décidé de faire la distribution des clés sur le Grand Alger ; ainsi que la confection au public de la plaque d'immatriculation « emboutissage de la plaque ».

1996

Distributions des ébauches de clés sur le territoire Algérien.

1997

Changement de siège, toujours à la même adresse « 39 Rue Ahmed Boumaazouza El Madania Alger », d'une superficie de 40 m². 1ere importation des ébauches de clés chez le fournisseur Espagnole JMA. C'est devenu la plus grande société de distribution en Algérie sous le nom de SARL Sofiane.

1998

Création de la SARL SOFICLEF « 18 Février 1998 » Distributeur exclusif de la marque JMA en Algérie. Plus de 90% de la part de marché des ébauches de clés . Nouveau siège de 80 m² situé à la cité des Jasmins El Madania Alger.

1999

Signature d'un contrat d'exclusivité avec la société Française FAAB « spécialisée dans la fabrication de plaque d'immatriculation. SOFICLEF est devenu « le premier distributeur Algérien de plaques d'immatriculation aux normes européennes avec film réfléchissant).

- Distribution de la plaque d'immatriculation sur le territoire national.
- Ventes entre 80.000 & 100.000 plaques.

- Nouveau siège de 150 m² « Rue Ahmed Ouanoufi el madania Alger».

2000

- Promotion de la plaque d'immatriculation (300.000 plaques par an).
- Elargissement du réseau de distribution des clés et plaques.
- Répondre aux exigences des clients, réclamations, satisfactions.

2001

1ere importation des serrures chez le fournisseur Espagnole AZBE « une serrure de qualité » par rapport à la mauvaise qualité de serrures sur le marché à cette époque suite à une étude de marché. Septembre 2001

Signature d'un contrat d'exclusivité avec le fabricant de serrure turque KALE KILIT pour 1 millions USD. SOFICLEF est devenue concurrentielle par rapport à la serrure chinoise en qualité et prix.

2002

Signature d'un contrat d'exclusivité avec le fabricant Egyptien AHRAM « fabricant de serrures » sous la marque IZO pour donner plus de choix au client.

Elargissement de la distribution de la serrure.

2003

Elargissement de la gamme avec l'introduction de poignée de porte chez les fabricants HAMLE et HUSNA.

Soficlef a atteint 35% de part marché de la serrure.

Début du routing et de l'après-vente pour tous les produits « Serrures - poignées - plaques et clés ».

2004

SOFICLEF a construit son propre bâtiment à Tixeraine Alger, construction moderne de 900 m², avec 35 employés.

2005

Début du négoce avec les chinois pour les produits cadenas et paumelle.

Élargissement de la gamme en insistant sur la qualité, sachant que les produits chinois sur le marché étaient de mauvaise qualité.

2006

- Restructuration de l'entreprise.
- Enregistrement de la marque SOFICLEF auprès de l'INAPI.
- Un parc auto élargi qui dépasse les 10 véhicules.
- Création d'une unité de montage de la poignée.

2007

Acquisition d'une ligne de production de la poignée et de la plaque d'immatriculation.
Le nombre d'employé est passé à 60 employés.

2008

Déplacement vers un nouveau site situé à Baba Ali Alger, d'une superficie de 5000 m².

Installation de deux lignes de production, une pour les poignées et crémones, injection, estampage et peinture, et l'autre pour la fabrication de la plaque d'immatriculation.
Élargissement de la distribution de la plaque d'immatriculation, avec une part de marché de 70%.

Élargissement de la distribution de serrures et poignée avec une part de marché de 65% avec un parc auto de 30 véhicules.

2009 - 2010

Déplacement vers le nouveau site à Si Mustapha Boumerdes, d'une superficie de 35 000 m² doté de dépôt avec un système de stockage moderne.

Autorisation pour l'exploitation d'un entrepôt sous douane au niveau du site.

2011

Augmentation de la capacité de production de la poignée de la crémonne et début de fabrication de la barre de crémonne.

2012

Acquisition d'une 2e ligne de fabrication de plaque ultramoderne et augmentation de la capacité de production 21.000.000 plaques / an.

Réalisation de la 1ere exportation vers le Maroc de la plaque d'immatriculation.

Introduction de nouvelles gammes « l'électropompe, nettoyeurs haute pression, poste à souder»

2013

Début du montage de la serrure au niveau de l'unité de production.

Elargissement de la gamme en introduisant l'outillage à main et les disques.

2014

Restructuration de l'entreprise où le nombre d'employé a atteint 290 collaborateurs.

Réaménagement du site, avec des normes internationales.

Statut d'opérateur économique agréé en douane.

2016

Homologation de la plaque d'immatriculations aux normes françaises. 1ere exportation de plaque d'immatriculation vers la France.

I.1.1 Activité

Soficlef est une entreprise à caractère industriel et commercial, leur atout majeur est la maîtrise totale des opérations de la grande distribution.

1- Production et Fabrication : Poignées de portes, crémones de fenêtres, plaques d'immatriculation.

2- Montage des serrures.

3- Commercialisation : Outillages à main, outillages électroportatifs, accessoires, portes de maison, ainsi que tous types d'ébauches de clés. [1]



Figure I-1 Direction générale

I.1.2 Base Logistique

Soficlef se trouve au cœur du développement de la logistique afin de répondre aux exigences de la modernisation organisationnelle, SOFICLEF dispose de l'un des plus grands réseaux de distribution en Algérie.

Soficlef dispose d'un espace de stockage et de magasinage de sa marchandise de 15000 M2 avec un système de racking ou rayonnage à palettes grande hauteur afin d'assurer le flux de la marchandise en toute sécurité. Une flotte de véhicules tous types confondus ainsi qu'un large réseau de distribution judicieusement réparti à travers le territoire national lui permet de garantir la livraison de la marchandise dans les meilleurs délais grâce à une planification au préalable pour l'optimisation des chargements. Grâce à ses installations et son organisation, Soficlef a pu obtenir l'autorisation de son entrepôt sous douane privé.

I.1.3 Operateur Economique Agrée

La maîtrise des procédures de gestion douanières et la conformité à tous les aspects a abouti à l'octroi d'une ligne douanière spécialisée pour leur transactions douanière.

Le témoignage et la reconnaissance de l'état Algérien s'est traduit par l'attribution du statut d'opérateur économique agréé.



Figure I-2 Zone de stockage

I.1.4 Garantie

Soficlef dispose d'un service-après-vente (SAV) constitué d'une équipe de techniciens très qualifiés. Elle prend en charge la réparation ou l'échange des produits sous garantie sur tout le territoire national. [1]



Figure I-3 chaine de montage

I.1.5 ORGANIGRAMME DE SOFICLEF



I.2 HISTORIQUE DE LA PLAQUE D'IMMATRICULATION

I.2.1 L'histoire de la plaque d'immatriculation

Apparition de la première plaque d'immatriculation en France :

La première plaque d'immatriculation de l'histoire a fait son apparition il y a presque 120 ans jour pour jour : c'était le 14 août 1893. Cependant, l'idée n'était pas neuve : dès le XVIIIe siècle, un certain Mr Guillaume avait soumis au roi Louis XV l'idée d'attribuer un numéro unique aux attelages circulant dans les rues de Paris.

Plus tard, les carrioles se virent obligées de faire apposer une plaque en métal mentionnant le nom ainsi que les coordonnées du propriétaire. En quelque sorte, on était déjà à la plaque d'immatriculation personnalisée.

En 1891, alors que les premières automobiles commencent à arpenter les rues de France, Lyon impose aux automobilistes d'indiquer un numéro sur une plaque, afin de combattre les délits de fuite, qui sont apparus presque en même temps que la voiture.

Enfin, la préfecture de Paris développera le système en signant une ordonnance de 14 août 1893. Elle imposera aux véhicules à moteur la fixation d'une plaque d'immatriculation qui comporte le numéro attribué par la demande de circuler avec un véhicule à moteur, mais aussi les coordonnées du propriétaire. Cet ancêtre de la plaque d'immatriculation devait être fixé sur le flanc gauche du véhicule. [2]



Figure I-4 Ancienne plaque

I.2.2 La plaque d'immatriculation en ALGERIE

Codes des plaques d'immatriculation de l'Algérie Française puis Indépendante : [3]

De 1902 à 1951, les plaques se terminaient par AL sans puis avec un suffixe numérique.

	Départements de 1951 à 1957	Codes à partir de 1957	Lettres préfixes de 1963 à 1976	Codes numériques pour 48 Wilayas
Alger = El Djezair	91	9A	A	16
Aumale = Sour El Ghozlan		9N (1958-1959)		
Batna		9B		05
Bône = Annaba		9C	C	23
Bougie = Bejaïa		9P (1958-1959)		06
Constantine	93	9D	D	25
Médéa = Titteri		9E	E	26
Mostaganem		9F	F	27
Oran = Ouahran	92	9G	H	31
Orléansville = El Asnam		9H	J	02
Saïda		9R après 1958	K	20
Sétif		9J	M	19
Tiaret = Tagdempt		9K	R	14
Tizi-Ouzou		9L	S	15
Tlemcen		9M	T	13
Département des Oasis = Laghouat		8A après 1958?	G	03
Département de la Saoura = Béchar		8B après 1958?	L	08
Sud Algérien	94	9T (1957-1958?)		
Aurès			B	

Figure I-5 Codes des plaques d'immatriculation de l'Algérie Française puis Indépendante

I.2.3 Quelques exemples de plaques algériennes à travers l'histoire

Dates d'immatriculation des Automobiles circulant en Algérie		
<p>Pour permettre à nos lecteurs de trouver la date approximative de la mise en circulation des véhicules vendus en Algérie, nous donnons ci-dessous leur date d'immatriculation.</p> <p>Nous ne donnerons que les dates de la première voiture de chaque série. de 500.</p>		
1 AL 1	1500 AL 3	(Oran) 31 Juillet 1925.
500 AL 1	2000 AL 3	1 ^{er} Janvier 1925.
1 AL 2	2500 AL 3	14 Février 1925.
500 AL 2	3000 AL 3	1 ^{er} Mai 1925.
6 AL 3	3500 AL 3	30 Juin 1925.
500 AL 3	4000 AL 3	(Constantine) 10 Déc. 1924.
1 AL 4	4500 AL 3	(Constantine) 15 Mai 1925.
500 AL 4	5000 AL 3	1 ^{er} Septembre 1925.
1 AL 5	5500 AL 3	29 Octobre 1925.
500 AL 5	6000 AL 3	21 Décembre 1925.
1 AL 6	6500 AL 3	5 Février 1926.
500 AL 6	7000 AL 3	(Oran) 8 Octobre 1925.
1 AL 7	7500 AL 3	(Oran) 30 Novembre 1925.
500 AL 7	8000 AL 3	(Oran) 29 Janvier 1926.
1 AL 8	8500 AL 3	(Oran) 31 Mars 1926.
500 AL 8	9000 AL 3	(Constantine) 1 ^{er} Oct. 1925.
1 AL 9	9500 AL 3	(Constantine) 25 Janv. 1926.
500 AL 9		
AL 4		
40.000 à 50.000		
1000 AL 4	1000 AL 4	26 Mars 1926.
1500 AL 4	1500 AL 4	15 Mai 1926.
2000 AL 4	2000 AL 4	30 Juin 1926.
2500 AL 4	2500 AL 4	18 Juillet 1926.
3000 AL 4	3000 AL 4	(Oran) 11 Juin 1926.
3500 AL 4	3500 AL 4	(Oran) 27 Août 1926.
4000 AL 4	4000 AL 4	(Oran) 16 Décembre 1926.
4500 AL 4	4500 AL 4	
5000 AL 4	5000 AL 4	(Constantine) 6 Mai 1926.
5500 AL 4	5500 AL 4	(Constantine) 31 Juill. 1926.
6000 AL 4	6000 AL 4	(Constantine) 30 Oct. 1926.
6500 AL 4	6500 AL 4	(Constantine) 27 Fév. 1926.
7000 AL 4	7000 AL 4	6 Novembre 1926.
7500 AL 4	7500 AL 4	14 Janvier 1927.
8000 AL 4	8000 AL 4	9 Mars 1927.
8500 AL 4	8500 AL 4	(Constantine) 25 Mai 1927.
9000 AL 4	9000 AL 4	(Constantine) 29 Juill. 1927.
9500 AL 4		
AL 5		
50.000 à 60.000		
1000 AL 5	1000 AL 5	1 ^{er} Juin 1927.
1500 AL 5	1500 AL 5	11 Juillet 1927.
2000 AL 5	2000 AL 5	19 Août 1927.
2500 AL 5	2500 AL 5	28 Septembre 1927.
3000 AL 5	3000 AL 5	(Oran) 16 Juin 1927.
3500 AL 5	3500 AL 5	28 Septembre 1927.
4000 AL 5	4000 AL 5	(Oran) 16 Juin 1927.
4500 AL 5	4500 AL 5	(Oran) 27 Août 1927.
5000 AL 5	5000 AL 5	(Oran) 15 Novembre 1926.
5500 AL 5	5500 AL 5	(Oran) 25 Janvier 1928.
6000 AL 5	6000 AL 5	(Constantine) 7 Oct. 1927.
6500 AL 5	6500 AL 5	(Constantine) 22 Déc. 1926.
7000 AL 5	7000 AL 5	(Constantine) 23 Mars 1926.
7500 AL 5	7500 AL 5	(Constantine).
8000 AL 5	8000 AL 5	18 Novembre 1927.
8500 AL 5	8500 AL 5	28 Décembre 1927.
9000 AL 5	9000 AL 5	31 Janvier 1928.
9500 AL 5	9500 AL 5	5 Mars 1928.
1000 AL 6	1000 AL 6	31 mars 1928.
	1000 AL 6	4 mai 1928.
	1000 AL 6	6 juin 1928.
AL 6		
30.000 à 40.000		
1000 AL 6	1500 AL 6	3 juillet 1928.
	2000 AL 6	(Oran) 28 mars 1928.
	2500 AL 6	(Oran) 18 mai 1928.
	3000 AL 6	(Oran) 29 juin 1928.
	3500 AL 6	(Oran)
	4000 AL 6	Territoires du Sud.

Figure I-6 Quelques exemples de plaques algériennes à travers l'histoire

I.2.4 Images illustrant quelques plaques d'immatriculation algériennes



Diplomatic Corps



Non-Diplomatic Embassy Staff



Temporary Tourist



State Owned Vehicle



Foreign Service Technician



Export (to Algeria) (1)

www.worldlicenseplates.com

2/2015



Figure I-7I.2.4 Images illustrant quelques plaques d'immatriculation algériennes

I.3 Présentation de la pièce

I.3.1 Plaque d'immatriculation véhicule simple PR/SF-520-110B

La plaque d'immatriculation véhicule simple PR.SF-520.110B, de couleur blanche, est une plaque minéralogique d'identification avant des véhicules roulants, à appliquer sur tous les véhicules circulant sur le réseau routier, cette plaque est en aluminium, légère et très résistante à la corrosion, à utiliser avec tous type de presse d'emboutissage. [4]



Figure I-8 Plaque d'immatriculation véhicule d'identification avant

I.3.1.1 Caractéristiques

- Plaque d'immatriculation véhicule.
- Installation avant.
- Bordure noir.
- Couleur blanche.

I.3.1.2 Spécifications

- Dimensions 520X110mm.
- Tôle en aluminium.
- Solid foil+Film réfléchissant.

I.3.2 Plaque d'immatriculation véhicule simple PR/SF-520-110J

La plaque d'immatriculation véhicule simple PR.SF-520.110J, de couleur jaune, est une plaque minéralogique d'identification arrière de véhicules roulant, à appliquer sur tous les véhicules circulant sur le réseau routier, cette plaque est en aluminium, légère et très résistante à la corrosion, à utiliser avec tous type de presse d'emboutissage. [4]



Figure I-9 Plaque d'immatriculation véhicule d'identification arrière

I.3.2.1 Caractéristiques

- Plaque d'immatriculation véhicule.
- Installation arrière.
- Bordure noir.
- Couleur jaune

I.3.2.2 Spécifications

- Dimensions 520X110mm.
- Tôle en aluminium.
- Solid foil+Film réfléchissant.

Chapitre II: L'aluminium et ses alliages

II.1 Historique et fabrication de l'aluminium

L'aluminium est le métal le plus récemment découvert puisqu'il n'est utilisé industriellement que depuis la fin du XIX^e siècle. Pourtant l'alun, sulfate double d'aluminium et de potassium, le composé d'aluminium le plus anciennement connu, était déjà décrit par Pline l'ancien et utilisé à Rome comme mordant pour les couleurs.

Il a fallu attendre 1825 pour que Hans Christian Oersted obtienne l'aluminium à l'état de corps simple sous forme d'une poudre grise contenant encore une très grande quantité d'impuretés. En 1827, Friedrich Wöhler obtient cette même poudre grise d'aluminium contenant cependant moins d'impuretés.

Ce n'est qu'en 1854 qu'Henri Sainte-Claire-Deville présente le premier lingot d'aluminium obtenu à l'état fondu, par un procédé mis en application en 1859 de façon industrielle par Henry Merle dans son usine de Salindres (Gard), berceau de la société Pechiney. Mais ce procédé était compliqué ce qui donnait un métal très cher, réservé à des utilisations dans le luxe et l'orfèvrerie.

En 1886, Paul Louis Toussaint Héroult en France et Charles Martin Hall aux Etats Unis déposent indépendamment leurs brevets sur la production d'aluminium par électrolyse à chaud de l'alumine, oxyde déshydraté de l'aluminium, dissoute dans de la cryolithe fondue (fluorure double de sodium et d'aluminium).

L'invention de la dynamo, qui remplaça la pile comme source d'électricité, et l'utilisation des chutes hydrauliques : la "houille blanche" rendit possible la production économique de métal.

P.L.T. Héroult monte sa première usine en 1887 à Neuhausen en Suisse, sur une chute du Rhin, berceau de la société l'Aluminium Suisse. Il monte une usine en 1889 à Forges (Isère), berceau de l'hydroélectricité française développée par Aristide Bergès, puis une autre à la Praz dans la vallée de l'Arc (Savoie).

C.M. Hall monte en 1888 une usine pour la Pittsburgh Reduction Co qui deviendra en 1907 l'Aluminium Company of America.

L'aluminium est entré dans sa phase industrielle ; sa production a connu en 100 ans une croissance prodigieuse, le mettant au premier rang des métaux non ferreux et au deuxième de tous les métaux derrière le fer, ainsi que l'illustrent les chiffres suivants :

Année	Production mondiale (tonnes)
1886	13
1889	200
1900	5700
1910	44 350
1920	121 000
1930	269 000
1940	810 000
1950	1 507 000
1960	4 624 000
1970	10 307 000
1980	16 000 000
1999	28 000 000

Tableau II-1 les flux de production

L'aluminium est d'abord employé à l'état pur pour sa légèreté, et son inaltérabilité, mais au point d'alliages d'une plus grande résistance mécanique va être déterminante.

Conrad Claessen trouve en 1905 la possibilité de durcir certains alliages par traitement thermique. Alfred Wilm met au point le "Duralumin" (aluminium de Düren), alliage d'aluminium et de cuivre, qui durcit par trempe. Aladar Pacz imagine en 1920 l'alliage aluminium silicium affiné au sodium, "l'Alpax".

La fabrication de l'aluminium se décompose en deux étapes

- Extraction de l'alumine de bauxite,
- Fabrication de l'aluminium par électrolyse de l'alumine.

Les gisements du minerai de départ, la bauxite, sont très nombreux et importants sur tout le globe terrestre. Les plus vieux, aujourd'hui épuisés, étaient dans le sud de la France, en particulier près du village des Baux en Provence, qui a donné son nom au minerai.

La bauxite est un mélange d'oxyde d'aluminium, l'alumine, d'oxyde de silicium, la silice, d'oxyde de fer, d'oxyde de titane et d'eau. Les teneurs de ces différents oxydes sont les suivantes

Alumine	40 – 60 %
Silice	2 – 12 %
Oxyde de fer	18 – 25 %
Oxyde de titane	2 – 4 %
Eau	10 – 15 %

Tableau II-2 Les teneurs en pourcentage des différents oxydes

L'extraction de l'alumine s'effectue par attaque de la bauxite à température et pression élevées au moyen d'une solution de soude caustique (procédé Bayer). Les impuretés insolubles sont séparées de la solution par décantation et filtration et portent le nom de " boues rouges" en raison de leur couleur due à la présence d'oxyde de fer.

De la solution épurée, refroidie et diluée, on peut tirer l'hydroxyde de l'aluminium : $\text{Al}(\text{OH})_3$; celui-ci est calciné à $1200\text{ }^\circ\text{C}$ pour donner l'alumine : Al_2O_3 , qui se présente sous la forme d'une poudre de couleur blanche.

L'alumine est mélangée à de la cryolithe et ce mélange est liquide à 1000°C ; l'électrolyse de l'alumine se fait dans une grande cuve peu profonde, dont le fond est garni de graphite qui sert de cathode (pôle-). Les anodes (pôle+) sont faites avec de la pâte de coke et de brai précuite et plongent dans le bain.

Le passage du courant continu décompose l'alumine : l'aluminium liquide à 1000°C se dépose à la cathode, au fond de la cuve, et l'oxygène se dégage aux anodes en les brûlant ; celles-ci sont donc consommées et changées régulièrement. L'aluminium est récupéré par siphonage dans une poche de coulée.

La tension continue appliquée aux électrodes est de 4,5 à 6V ; l'intensité du courant passant dans la cuve n'a cessé de progresser au fil des ans avec les améliorations technologiques apportées aux cuves : la toute première cuve d'Hérault avait 4000 A ; en 1914, les cuves avaient 20 000 A, 100 000 A en 1944, 175 000 A en 1980 et elles atteignent aujourd'hui 300 000 A.

La consommation électrique de l'électrolyse de l'aluminium est importante, de l'ordre de 13 000 KWh par tonne d'aluminium produite. Pour fabriquer 1 tonne d'aluminium, il faut 2 tonnes d'alumine et 4 tonne de bauxite. [5]

II.2 Généralités sur l'aluminium

L'aluminium possède les caractéristiques suivantes :

Propriété	symbole	valeur
Symbole chimique	Al	
Température de fusion	Θ_f	660°C
Structure cristalline		CFC
Masse volumique	ρ	2700 Kg.m ⁻³
Conductivité thermique	λ	237 W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Résistivité	ρ	0,0625 $\mu\Omega$.m ⁻¹
Coefficient de dilatation linéique	α	23,1 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Coefficient de poisson	γ	0,33
Module de Young	E	70 GPa
Résistance maximale à la traction	R _m	70 à 80 MPa
Limite d'élasticité	R _e	10 à 20 MPa
Allongement %	A %	50 à 60 %

Tableau II-3 les caractéristiques de l'aluminium

Bonne résistance aux agents atmosphériques, même grâce à la formation d'une couche d'Al₂O₃.

Ses faibles caractéristiques peuvent être que moyennement améliorées par écrouissage (R_m de 100 à 170 MPa) limitant son emploi à des éléments faiblement sollicités.

L'addition d'éléments d'alliage tels que Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ti, améliore les caractéristiques mécaniques et parfois la résistance à la corrosion permettant une utilisation beaucoup plus large. Les atomes de ces éléments entrent en solution solide de substitution bien qu'ils soient plus (Cu) ou plus gros (Mg) que les atomes d'aluminium. Ils perturbent le réseau qui devient plus difficile à déformer.

On distingue deux familles d'alliages d'Al : les alliages de fonderie et ceux de corroyage.

Le **Tableau II-4** donne quelques caractéristiques générales pour ces alliages. Voir la désignation normalisé qui est donnée : [6]

Alliage		Aptitude technologique et d'usage						
		Résistance mécanique	usinabilité	Soudabilité	Malléabilité à froid	Malléabilité A chaud	Résistance à la corrosion	Aptitude à la l'anodisation
	Al	1	1	4	4	4	4	4
2000	Al-Cu	4	4	0	1	3	1	2
3000	Al-Mn	2	2	4	3	3	4	3
5000	Al-Mg	2	2	4	3	1	4	3
6000	Al-Si-Mg	3	3	3	2	4	4	4
7000	Al-Zn-Mg	3	3	3	2	3	2	2
7000	Al-Zn-Mg-Cu	4	4	0	1	2	1	2
Moulage	Al-Si	2	1	3	-	2	3	1
Moulage	Al-Mg	2	2	4	-	1	4	4

Tableau II-4 Quelques caractéristiques générales pour les alliages de fonderie et ceux de corroyage

Note 0 : à proscrire quasi impérativement

Note 1 : difficultés sérieuses – précaution obligatoires à prendre

Note 2 : difficultés existantes mais surmontables

Note 3 : absence de difficultés marquées

Note 4 : excellent usage optimum

II.3 Mise en œuvre

Elle est assez facile par un grand nombre de procédés : laminage, moulage, forgeage, formage, filage, étirage, extrusion, métallurgie des poudres, usinage...

Le coefficient de dilatation important et la grande conductivité thermique imposent, à cause des dilatations, certaines précautions en soudage et en usinage. L'élasticité, assez élevée, peut être une gêne dans certains cas d'usinages. La soudabilité (MIG, TIG...) dépend de la trempe et du revenu pratiqués sur l'alliage.

II.3.1 Traitements thermiques

Ils sont tout à fait différents de ceux des aciers. Après trempe, le durcissement est obtenu par vieillissement naturel ou maturation à température ambiante, ou par revenu à température élevée.

Les alliages avec le cuivre, le silicium, le zinc et ceux avec le magnésium plus le silicium sont dits trempants ; ils sont dits avec durcissement structural.

L'aluminium pur, les alliages avec le manganèse et le magnésium ne sont pas trempants ; ils sont dits sans durcissement structural.

II.3.2 Traitements de surface

Les traitements de surface possibles sont nombreux : traitements mécaniques (sablage, polissage...), chimiques (décapage, brillantage...), par peintures (primaire + peinture), dépôts électrolytiques (cuivrage, nickelage, cadmiage, chromage...), anodisation (propre à l'aluminium, couche protectrice et décorative de 10 à 20 mm).

Les aspects brillants peuvent être obtenus par polissage mécanique, brillantage chimique ou électrolytique, les aspects mats obtenus par brossage, sablage, satinage, décapage...

II.3.3 Anodisation

Le traitement, en milieu sulfurique (ou chromatique...), crée en surface une couche poreuse d'alumine (5 à 30 mm) qu'il est possible de colorer. Après coloration, la couche est colmatée (eau bouillante...), devient compacte, continue, étanche, transparente et isolante ("électriquement").

II.3.4 Recyclabilité

Comme pour la plupart des métaux, elle est généralement relativement facile. Une fois les peintures éliminées (Chauffage...) le principal problème est souvent de trier ou séparer des nuances différentes.

Exemple :

"Can" ou boîte d'emballage type "cola cola". Ces boîtes sont constituées de deux nuances d'aluminium différentes. Par exemple, un 3004 (Al + Mn) pour le corps cylindrique, plus malléable et facilement déformable ; et un 5181 (Al + Mg) pour la partie couvercle avec levier d'ouverture, et plus dure que la précédente.

La séparation peut être réalisée à basse température, le 5182, moins ductile, se brisera en plus petits morceaux que le 3004 qu'il sera ensuite assez aisé de trier. Il est également possible, après avoir fondu ensemble les deux nuances, d'insuffler un gaz (chlorine) à travers le métal liquide afin de la faire réagir avec le magnésium (forme un chlorure). Après réaction, le métal restant est sensiblement un 3004. [6]

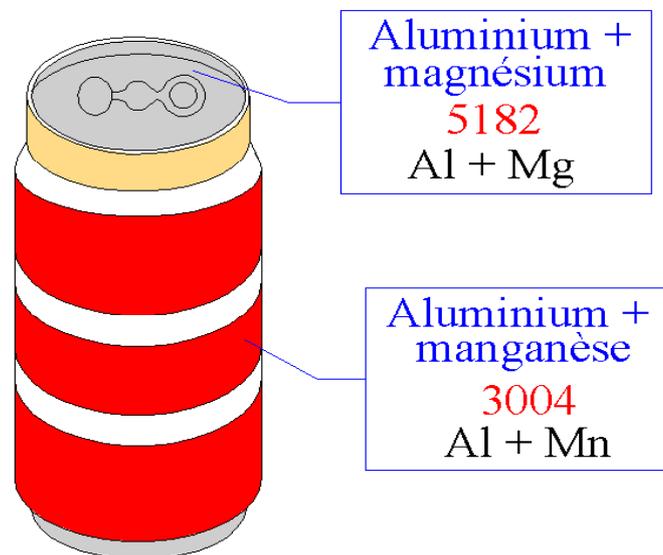


Figure II-1 Boîte d'emballage type "cola cola"

II.4 Alliages de fonderie

II.4.1 Aluminium – Silicium

Ces alliages sont de loin les plus employés parmi les alliages de fonderie. Les éléments secondaires d'addition sont en général :

- Le magnésium (Mg) pour améliorer la résistance à la corrosion.
- Le titane (Ti) pour améliorer les caractéristiques mécaniques, très efficace mais diminue l'usinabilité. Le titane est toujours associé avec du magnésium.
- Le cuivre (Cu) pour améliorer les caractéristiques mécaniques. Moins efficace que le Ti, il améliore l'usinabilité.

Le diagramme d'équilibre (Figure II-3) Al – Si présente un eutectique à 11,7 % de Si (577°C). Les alliages principaux de fonderie présenteront donc ce pourcentage équivalent de Si.

Ces alliages se divisent en trois catégories :

- Les hypo eutectiques (Traitement Thermique possible),
- Les eutectiques, utilisés pour le moulage mince (carter de moteur, radiateur),
- Les hyper eutectiques ou alliage mères.

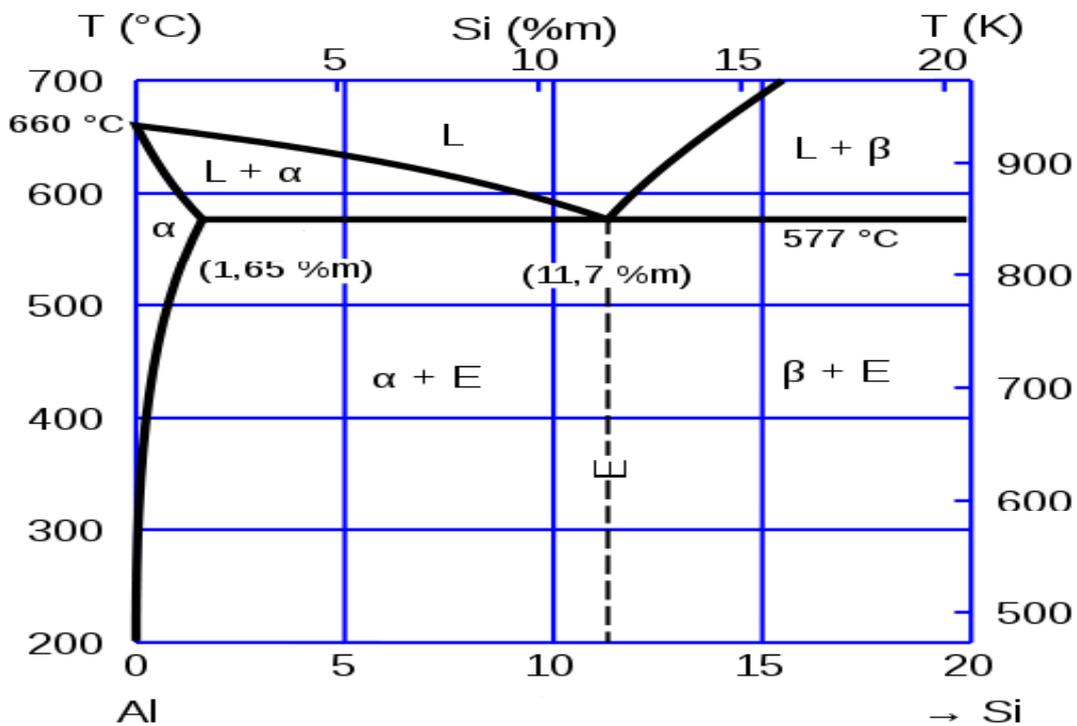


Figure II-2 Diagramme d'équilibre Aluminium – Silicium

Tableau II-6 donne les principales caractéristiques des alliages courant de fonderie.

NF EN 1706	NF A 57-702	Mode de coulée	Nom commercial	Re _{0,2} (MPa)	R (MPa)	A %	HV
42100	Al-Si 7 Mg	Sable	415 M	10-13	15-18	1-2,5	60-70
43300	Al-Si 10 Mg	Coquille	Alpax H	19-22	26-32	1-3	85-100
48000	Al-Si 12 Cu Ni Mg	Coquille	Centra sol	15-18	18-20	0,5-1	95-100
44100	Al-Si 13	Coquille	Alpax	8-10	18-22	4-10	65-75
-	Al-Si 20 Cu	Coquille		17-19	17-19	0-5	85-90

Tableau II-5 Les principales caractéristiques des alliages courant de fonderie

II.4.2 Aluminium – Magnésium

Ces alliages présentent des caractéristiques suivantes :

- Usinage facile,
- Excellente résistance à la corrosion atmosphérique ou marine,
- Bel aspect après polissage,
- Bonne aptitude à l'anodisation de protection et de décoration,

L'aptitude au moulage de ces alliages est modeste et le moulage en coquille plutôt déconseillé. Le risque de formation de criques, lors du refroidissement, est d'autant plus élevé que la teneur en magnésium est faible.

La teneur en magnésium de ces alliages est comprise, en général, entre 1 et 12 %. Il est possible d'augmenter encore leur résistance à la corrosion et leur soudabilité par ajout de manganèse (Mn) et de silicium (Si).

Le Tableau II-8 donne les principales caractéristiques des alliages courants de fonderie.

NF EN 1706	NF A 57-702	Mode de coulée	Nom commercial	Re _{0,2} (MPa)	R (MPa)	A %	HV	Etat
-	Al-Mg 1	Sable ^(a)	Alumag 15	70	150	25	30	Recuit
				190	220	5	55	Ecroui
51100	Al-Mg 3 Ti	Sable ^(a)	Carbinox	120	200	24	50	Recuit
				200	250	8	70	Ecroui
51300	Al-Mg 6 Be	Sable ^(a)	Duralinox H5	140	330	22	70	Recuit
				200	380	8	95	Ecroui
51200	Al-Mg10SiBi	Coquille ^(b)		120	200	6	80	Recuit
				200	250	2	110	Ecroui

Tableau II-6 Les principales caractéristiques des alliages courants de fonderie

(a) Moulage en coquille possible

(b) Moulage sous pression possible

II.4.3 Aluminium – cuivre

Ces alliages ont une aptitude au moulage médiocre et une résistance à la corrosion insuffisante en milieu marin mais une bonne usinabilité.

Ils sont surtout utilisés pour leurs bonnes caractéristiques mécaniques (résistance à la rupture et limite élastique). On distingue deux grandes familles d'alliages :

- Alliage dont la teneur en Cu > 5,65 %, qui contiennent toujours de l'eutectique Al₂Cu. Ces alliages sont destinés à la fonderie.
- Alliages avec moins de 5,65 % de Cu pour lesquels les cristaux d'Al₂Cu sont dissous dans la phase α ou libres par suite d'une précipitation à l'état solide.

Tableau II-10 donne les principales caractéristiques des alliages courants de fonderie.

NF EN 1706	NF A 57- 702	Mode de coulée	Utilisation	Re _{0,2} (MPa)	R (MPa)	A %	HV
21000	Al-Cu5MgTi	Sable ⁽¹⁾	Pièces très sollicitées, Très bonne résistance à la fatigue, Aéronautique	395	420	3	135
-	Al-Cu8Si	Sable ⁽¹⁾	Très bonne usinabilité	125	160	0,5	90

Tableau II-7 Les principales caractéristiques des alliages courant de fonderie

(1) Moulage en coquille possible

Les alliages Al-Cu5NiKZr et Al-Cu4NiTi ont une bonne résistance à chaud (jusqu'à 250 voir 300°C), ils sont utilisés pour les pistons, les culasses de moteurs diesels.

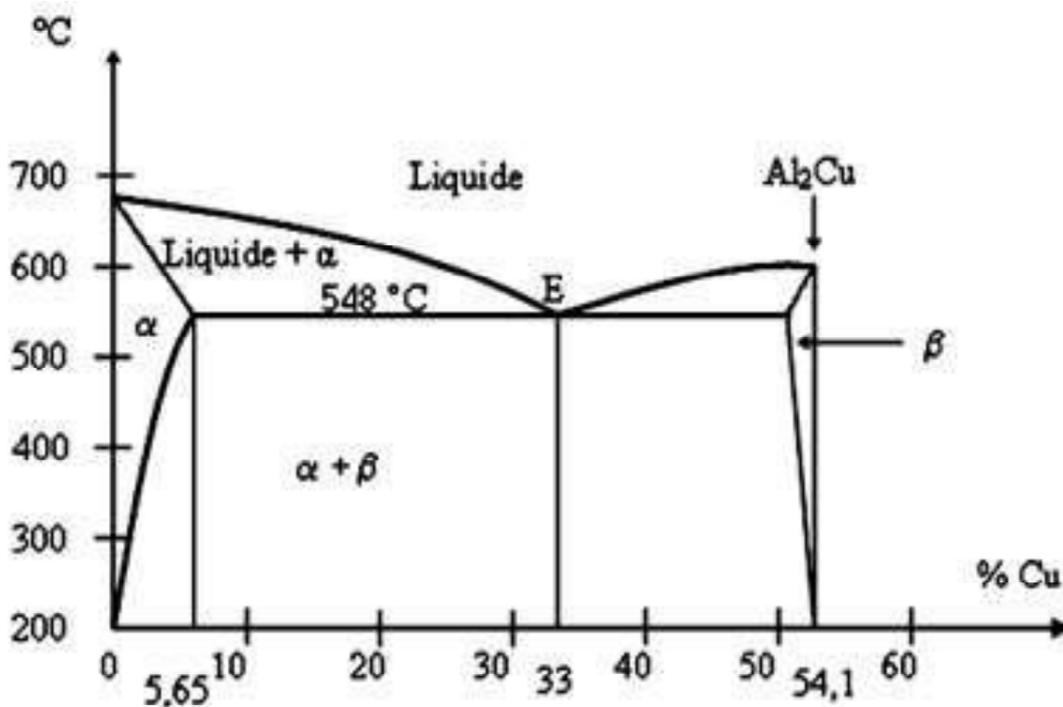


Figure II-3 Diagramme d'équilibre Aluminium – cuivre

Aluminium – Zinc

Leur particularité est d'être auto-trempant et d'avoir d'excellentes caractéristiques mécaniques, ils sont essentiellement coulés en sable et représentent très peu d'utilisation.

NF EN 1706	NF A 57- 702	Mode de coulée	Utilisation	Re _{0,2} (MPa)	R (MPa)	A %	HV
71000	Al-Zn5Mg	Sable	Construction mixte Moulé-soudé	140	205	7	70

Tableau II-8 Caractéristiques et utilisation des alliages Aluminium – Zinc

II.5 Alliage de corroyage

Il est habituel de distinguer deux groupes d'alliages suivants qu'ils sont ou non adaptés aux traitements thermiques :

- Les alliages non trempant (généralement état H),
- Les alliages à durcissement structural (état T).

Pour les alliages non trempant, le durcissement est obtenu par l'effet combiné des éléments d'addition (durcissement par solution solide) et de l'écrouissage. De plus, en combinant l'effet de durcissement par écrouissage et l'effet d'adoucissement par traitement de restauration ou de recuit, on obtient, pour chaque alliage, une plaque étendue de dureté allant de l'état recuit O à plasticité maximale et résistance mécanique minimale, jusqu'à l'état extra-dur H19 à résistance maximale mais plasticité minimale.

II.5.1 Aluminium pur : Série 1000

Les alliages ont une excellente résistance à la corrosion atmosphérique, une conductivité électrique et thermique élevée. L'excellente aptitude à la déformation à froid et au soudage destine ces alliages aux travaux de tôlerie fine, de décoration, de bijouterie fantaisie, électronique, alimentaire, etc. Leurs faibles caractéristiques mécaniques expliquent l'utilisation de ses alliages à l'état écroui (H12 à H18).

L'aluminium 1199, dénommé souvent "aluminium raffiné", est le plus pur des nuances habituellement commercialisées (Al / 99,99 %).

II.5.2 Aluminium – cuivre : Série 2000

Les alliages de cette série se caractérisent par la possibilité de durcissement structural et des caractéristiques mécaniques élevées après traitement thermique. Ils ont une bonne tenue à chaud mais une résistance à la corrosion bien inférieure à celle des alliages sans cuivre. Les possibilités de soudage sont limitées.

La nuance 2017A (duralumin) est la plus ancienne, les versions 2014 et 2024 sont utilisées dans les domaines de l'aéronautique (train d'atterrissage, ferrures d'ailes, structure d'avion, etc.) et en général pour des pièces très sollicitées.

II.5.3 Aluminium – Manganèse : Série 3000

Leur excellente aptitude à la mise en forme, au soudage, au brasage, leur résistance élevée aux agents atmosphériques conduit à les utiliser dans des domaines très variés tels que l'industrie chimique, les échangeurs thermiques, les climatiseurs, les profilés, les bardages, les ustensiles ménagers, etc.

II.5.4 Aluminium – Silicium : Série 4000

Ces alliages ne sont pas utilisés industriellement à l'état corroyé.

II.5.5 Aluminium – Magnésium : Série 5000

Ces alliages ont une excellente tenue à la corrosion, même marine, des bonnes caractéristiques mécaniques en fonction du taux de Mg et une bonne aptitude au soudage.

Ces alliages sont présents dans de nombreuses applications industrielles telles que la construction marine, l'architecture, la construction électrique (53,5 % IACS), l'industrie chimique, la construction automobile, etc.

II.5.6 Aluminium – Magnésium – Silicium : Série 6000

Ces alliages présentent des caractéristiques mécaniques moyennes, inférieures aux 2000 et 7000, une très bonne aptitude aux transformations à chaud ou à froid, intéressants pour la fabrication des profilés. Ils ont également un bon comportement aux agents atmosphériques, aux traitements de surfaces et une bonne aptitude au soudage.

Ces alliages se prêtent particulièrement au filage et extrusion pour la fabrication de profilés pour la menuiserie métallique ou des mâts de bateaux ainsi qu'à la tôlerie pour l'automobile.

II.5.7 Aluminium – Zinc : Série 7000

Ces alliages contiennent toujours du magnésium, ce sont les alliages typiques pour durcissement structural.

Ces alliages se divisent en deux sous-groupes :

- Alliages Al-Zn-Mg : ces alliages ne contiennent pas de cuivre et se caractérisent par leur auto trempabilité et leur bonne soudabilité.
- Alliages Al-Zn-Mg-Cu : ces alliages sont de loin les plus importants de la série 7000, leurs caractéristiques mécaniques après traitement sont exceptionnelles bien que leur tenue à chaud soit limitée (80 à 120°C). Le 7575 (zicral) est l'alliage le plus représentatif de ce sous-groupe et est très largement utilisé en aéronautique. Ses caractéristiques sont voisines d'un acier mi-dur du type C40.

II.5.8 Autres alliages d'aluminium : Série 8000

Cette série regroupe les autres alliages d'aluminium. Le nombre de ces alliages et surtout leur diversité fait qu'il n'est pas possible d'en dresser une liste exhaustive.

Par contre, notre attention est retenue par les alliages Aluminium-Lithium qui, en fait, sont rarement binaires mais souvent accompagnés de cuivre, zinc, magnésium et zirconium. Ces alliages non seulement sont intéressants par leur masse volumique (environ 13 % plus léger qu'un 2024 à résistance égale) mais également par leur caractère superplastique. [6]

II.5.9 Caractéristiques générales des alliages corroyés (Tableau II-13)

NF EN 573	NF A 02-004	Etat	R (MPa)	Re _{0,2} (MPa)	A %	HV
2017AL	A-U4G	T4	420	280	18	110
2014	A-U4SG	T4	420	280	18	110
2024	A-U4G1	T4	460	320	18	130
2618AL	A-U2GN	T6	460	400	10	132
2011	A-U5PbBi	T3	300	250	10	105
2030	A-U4Pb	T4	420	280	12	110
3003	A-M1	H14	160	140	8	40
3004	A-M1G	H14	240	200	8	64
3005	A-M1G	H14	190	160	7	50
5005	A-G	H14	160	140	8	40
5052	A-G3	H24	250	200	12	70
5454	A-G3M	H24	300	200	8	80
5086	A-G4MC	H34	200	250	8	85
5083	A-G4, 5M	H22	330	240	12	85
6060	A-GS	T5	330	170	14	65
6061	A-GS1	T6	220	270	13	95
6082	A-GS1M	T6	310	280	14	90
7020	A-Z5G	T6	380	320	20	100
7049AL	A-Z8G1U	T6	610	530	5	170
7075	A-Z5GU	T6	540	480	10	155

Tableau II-9 Caractéristiques générales des alliages corroyés

II.6 Forme des produits :

II.6.1 Produits longs

Ils sont obtenus par filage ou filage plus étirage ou tréfilage.

- **Barres**

Produit livrés en longueur droite dont la section est identique sur toute la longueur et qui a une forme ronde, carrée ou hexagonale (appelée 6 pans).

- **Fils**

Produit de section ronde et de très grande longueur livrés enroulés en couronnes.

- **Tubes**

Produits creux livrés en longueur droite dont l'épaisseur est constante tout autour de la section ; celle-ci peut avoir une forme ronde ou carrée.

- **Méplats**

Produits livrés en longueur droite de section rectangulaire dont le rapport largeur sur épaisseur ne dépasse pas 10.

- **Profils**

Produit livrés en longueur droite dont la section peut avoir une forme simple, en L, appelés aussi cornière, en U, en T, ou une forme plus compliquée dont la description complète nécessite un plan coté. Ils sont souvent classés par leur poids au mètre.

II.6.2 Produits plats

Ils sont obtenus par laminage ; leur section est rectangulaire et le rapport largeur sur épaisseur est supérieur à 10

- **Tôle :**

Produit laminé livrés à plat ; leur longueur est donc une dimension de livraison. On distingue les tôles minces, dont l'épaisseur est comprise entre 0,2 et 1 mm, les tôles moyennes, dont l'épaisseur est comprise entre 1 et 20 mm et les tôles fortes, dont l'épaisseur est supérieure à 20 mm. Elles peuvent être livrées nues revêtues d'un film de protection adhésif ; elles peuvent être plaquées c'est-à-dire colaminées avec une tôle de faible épaisseur dans un alliage résistant bien à la corrosion ; elles peuvent être gravées (tôles plancher).

- **Bande :**

Ce sont les même produits que les tôles minces et moyennes de faible épaisseur, livrés enroulés en rouleaux. [5]

*Chapitre III: Procédés de mise en forme
des matériaux*

III.1 L'emboutissage

L'emboutissage est un procédé de formage par déformation plastique des métaux, cette déformation consiste en un allongement ou un rétrécissement local de la tôle, cette technique de fabrication transforme une feuille de tôle mince appelée **flan** en une pièce de forme bien déterminée à l'aide d'un outillage simple (**un poinçon, une matrice et un serre-flan**) et avec une application d'une pression maîtrisée.

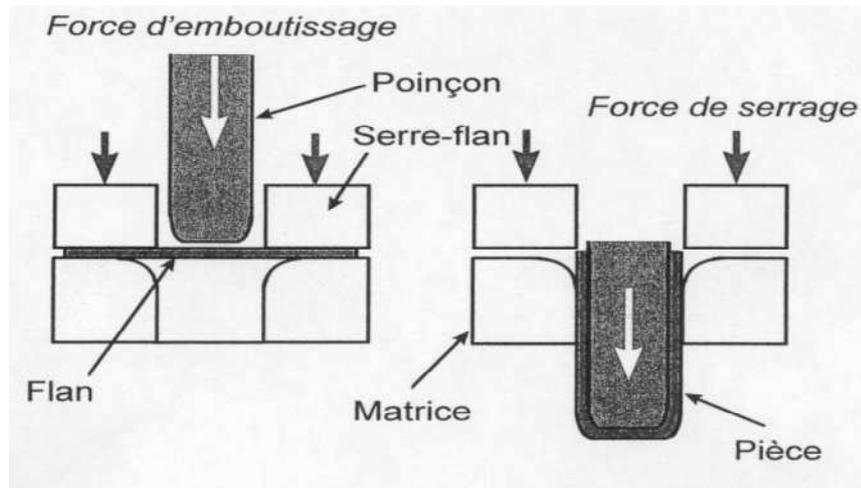


Figure III-1 Procédé d'emboutissage

III.1.1 Outillage

L'emboutissage se pratique à l'aide de presses à emboutir de forte puissance munies d'outillages spéciaux qui comportent trois pièces principales :

- Une matrice en creux : épouse la forme extérieure de la pièce
- Un poinçon en relief : épouse sa forme intérieure en gardant l'épaisseur de la tôle
- Un serre-flan : entoure le poinçon et il s'applique contre le pourtour de la matrice et sert à coincer la tôle pendant l'application du poinçon.
- Des joncs sont parfois utilisés pour freiner le glissement de la tôle

L'entrée de la matrice doit être très arrondie et polie pour éviter toute déchirure du métal et pour optimiser le comportement des zones de rétreint, aucun angle ne doit être vif et un parfait état de surface est primordial, la mise au point de tels outils est une opération très

spécialisée et très coûteuse notamment sur les pièces d'aspect (exemple : plusieurs mois pour l'extérieur d'une portière, capot, etc.) [7]

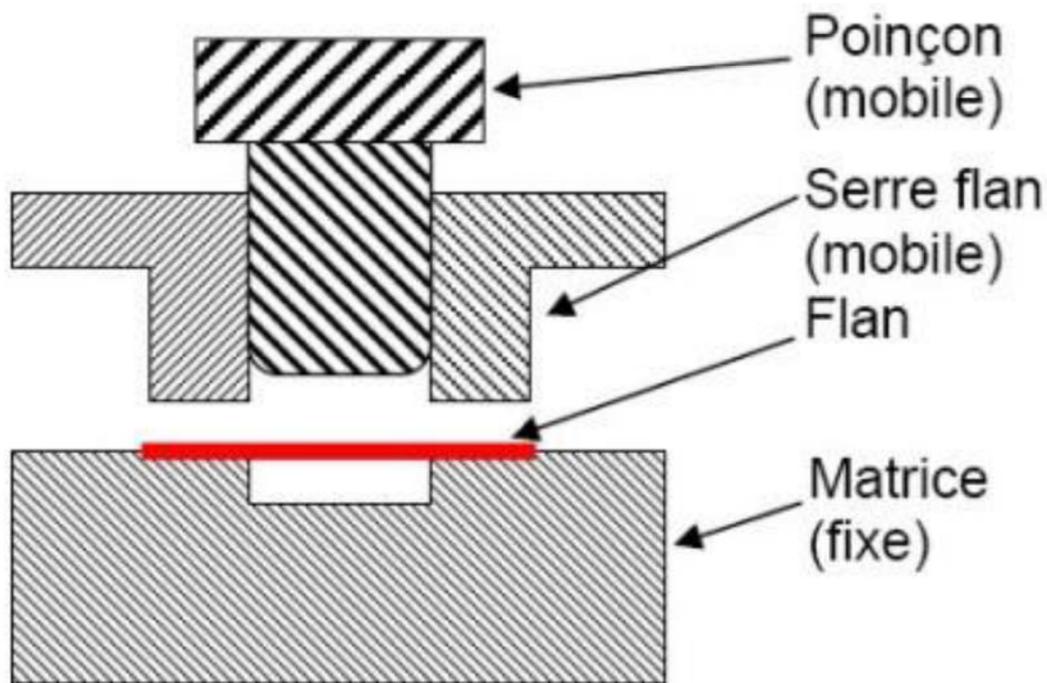
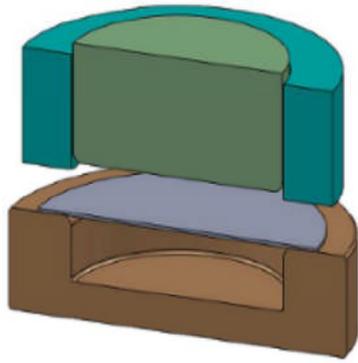


Figure III-2 Outillages d'emboutissage

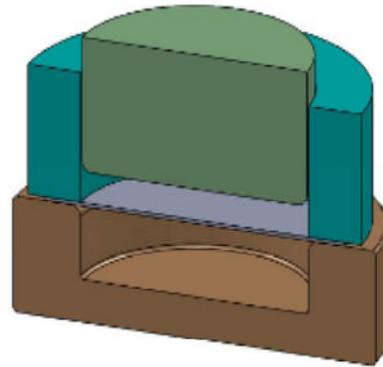
III.1.2 Fonctionnement

L'opération d'emboutissage:

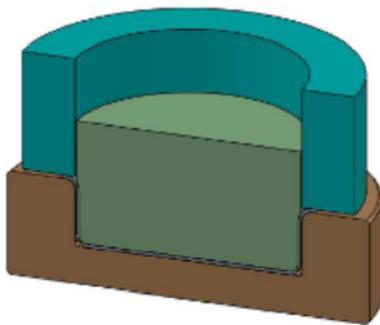
- **Phase 1** : poinçon et serre-flan sont relevés. La tôle, préalablement graissée, est posée sur la matrice.
- **Phase 2** : le serre-flan est descendu et vient appliquer une pression bien déterminée, afin de maintenir la tôle tout en lui permettant de glisser.
- **Phase 3** : le poinçon descend et déforme la tôle de façon plastique en l'appliquant contre le fond de la matrice.
- **Phase 4** : le poinçon et le serre-flan se relèvent : la pièce conserve la forme acquise (limite d'élasticité dépassée).
- **Phase 5** : on procède au « détourage » de la pièce, c'est-à-dire à l'élimination des parties devenues inutiles. (essentiellement les parties saisies par le serre-flan). [7]



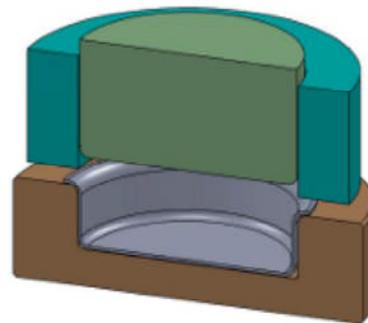
Phase 1 : poinçon et serre-flan sont relevés La tôle est posée sur la matrice.



Phase 2 : le serre-flan descend et vient serrer le pourtour de la tôle sur la matrice.



Phase 3 : la tôle étant maintenue (avec glissement possible entre le serre-flan et la matrice) le poinçon est abaissé et vient plaquer la tôle en la déformant contre le fond de la matrice.



Phase 4 : le poinçon et le serre-flan se relèvent : la pièce reste formée au fond de la matrice. il ne reste qu'à la sortir et la détourer.

Figure III-3 Opérations d'emboutissage

Remarque : Selon la profondeur ou la forme de la pièce, plusieurs passes dans des outils différents peuvent être nécessaires.

L'emboutissage peut aussi être pratiqué par d'autres procédés, comme l'application d'un fluide à haute pression qui plaque la tôle contre la matrice. Cette haute pression peut être obtenue à l'aide de dispositifs hydrauliques ou explosifs.

III.2 Types d'emboutissage

On distingue deux types, l'emboutissage à chaud et l'emboutissage à froid.

III.2.1 L'emboutissage à froid :

Cette technique consiste à former une pièce à température ambiante. Elle est principalement utilisée sur un outillage double effet mais peut aussi l'être sur un outillage simple effet dans le cas où les emboutis sont peu profonds ou s'ils nécessitent peu d'effort de serrage.

Ce type de formage permet d'obtenir une meilleure précision dimensionnelle, limite les coûts et évite la formation d'oxyde. Néanmoins, l'épaisseur des tôles à emboutir ainsi que les caractéristiques mécaniques sont à l'origine des limitations de cette technique. En effet, il devient nécessaire pour les grandes épaisseurs d'effectuer l'emboutissage en plusieurs passes.

A ceci, il faut ajouter d'une part l'effet de l'érouissage apparaissant lors de la mise en forme et se traduisant par un durcissement structural et une baisse de la ductilité. D'autre part, la création de contraintes résiduelles au sein de la pièce finie en limite ses applications (risque de rupture fatigue). [8]

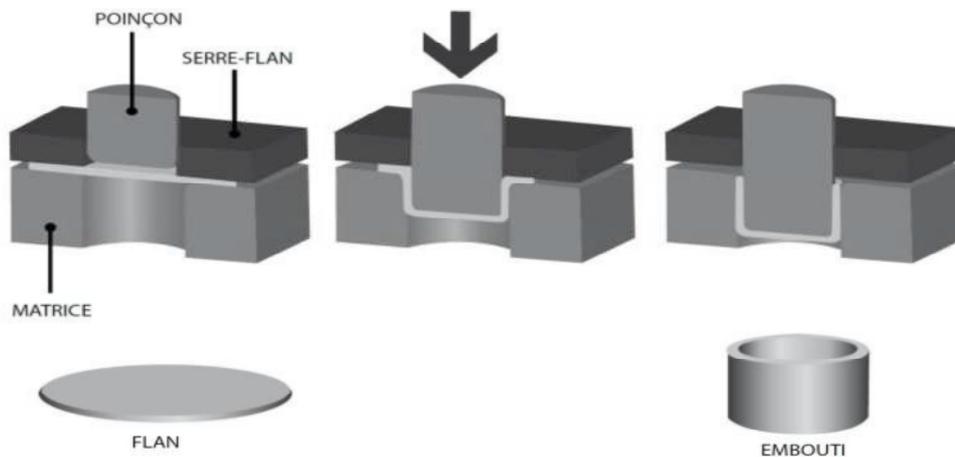


Figure III-4 L'emboutissage à froid

L'emboutissage à chaud :

Il est principalement utilisé sur presses hydrauliques simple ou double effet, le formage de fonds de réservoir en acier est le plus important domaine d'application.

Cette technique facilite la déformation du matériau, permet l'emboutissage des pièces profondes par chauffage du flan (et de la matrice) et évite l'écrouissage et la formation de contraintes résiduelles.

Les cadences de production de l'emboutissage à chaud sont moins élevées que celles de l'emboutissage à froid du fait de l'inertie de chauffage. De plus les pièces finies sont de moins bonne qualité, que ce soit au niveau de l'état de surface ou du dimensionnement.

Enfin, cette technique nécessite des mises au point de la sécurité plus importantes. [8]

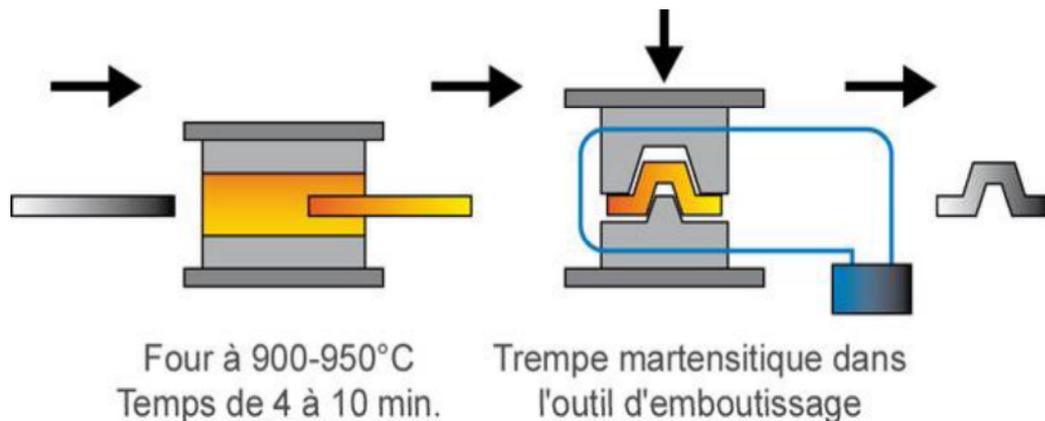


Figure III-5 L'emboutissage à chaud

III.3 Différents types d'essai standard d'emboutissage

L'importance des études des procédés de formage par déformation plastique a conduit les industriels et les chercheurs à réaliser des essais d'emboutissage en laboratoire dans des conditions expérimentales les plus réalistes possibles. Plusieurs types d'essais sont ainsi couramment utilisés. [10]

III.3.1 Essai Swift

En 1951, Swift a proposé un dispositif d'essai d'emboutissage dans lequel un poinçon à fond plat enfonce une éprouvette circulaire maintenue entre une matrice et un serre-flan, entre lesquels elle peut glisser. En fait, l'effort de retenue du flan au niveau de la collerette est relativement faible.

Cet essai Swift est souvent utilisé pour déterminer un rapport limite d'emboutissage (Limiting Drawing Ratio) $LDR = d/D$, où 'D' est le diamètre du poinçon et 'd' est le diamètre maximum du disque qu'il est possible d'emboutir avec ce dispositif.

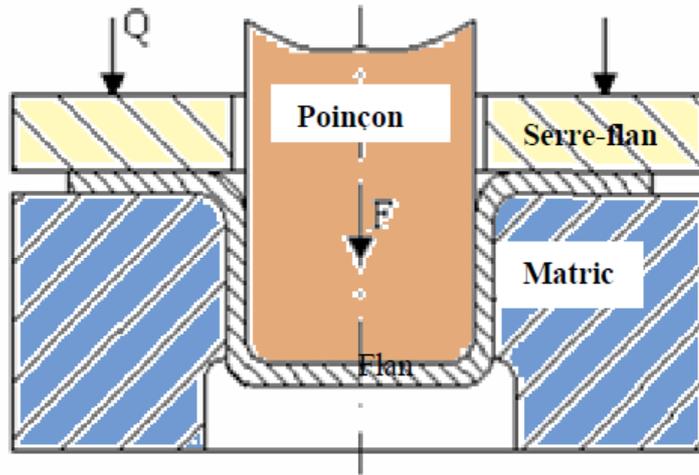


Figure III-6 Essai Swift

Un emboutissage de ce type est dit en rétreint, car entre le serre-flan et la matrice il y a allongement dans la direction radial mais rétrécissement dans la direction circonférentielle. Il y a pliage sous tension de la tôle quand elle passe sur le rayon de la matrice. Dans la jupe, le flan est en état de déformation en raison du frottement entre le poinçon de la tôle.

III.3.2 Essai Nakazima

En 1968, Nakazima et al ont présenté un autre essai d'emboutissage avec un poinçon à fond hémisphérique et une matrice circulaire. La nature du frottement entre le poinçon et la tôle fait varier l'état de déformation dans la tôle.

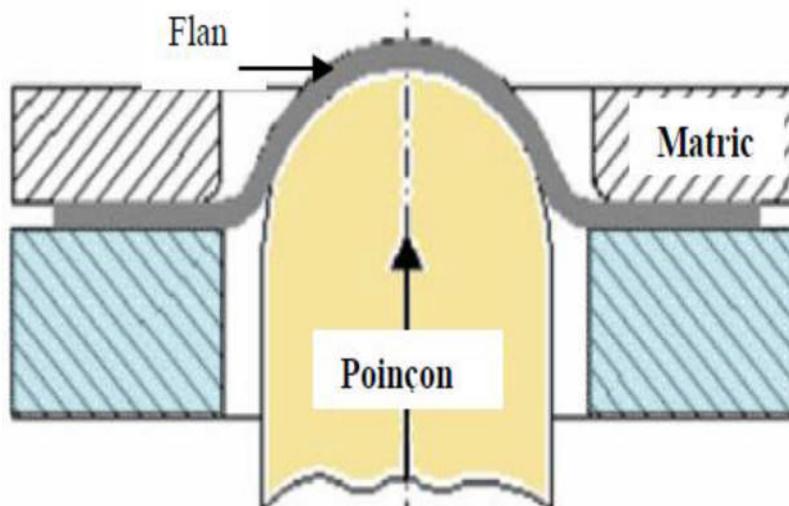


Figure III-7 Essai Nakazima

III.3.3 Essai Marciniak

En 1973, Marciniak a proposé un autre dispositif d'essai d'emboutissage avec un poinçon à fond plat. L'originalité de l'essai est dans la géométrie des tôles à emboutir et dans l'introduction d'un contre-flan.

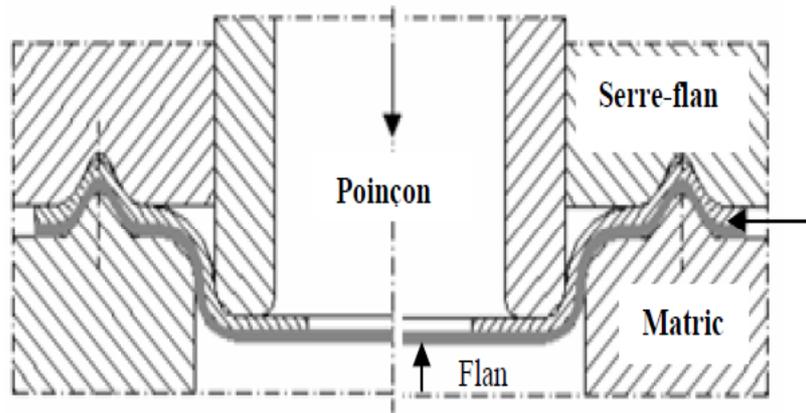


Figure III-8 Essai Marciniak

Dans la plupart des essais d'emboutissage avec un poinçon à fond plat, la rupture de la pièce apparaît dans la zone de raccordement entre le fond de la pièce et la portion cylindrique appelée jupe.

Le frottement entre le poinçon et la pièce est la cause de ce type de rupture. Pour localiser la rupture dans la zone plane qui recouvre le fond du poinçon, Marciniak a proposé l'utilisation d'un poinçon creux et d'une pièce intermédiaire le contre-flan. Le contre-flan est une tôle métallique avec un trou circulaire, qui a souvent les mêmes contours extérieurs que l'éprouvette emboutie avec un contre-flan les déformations de la tôle au-dessus du poinçon sont plus importante que quand le flan frotte directement sur le poinçon.

En emboutissant des toles rectangulaires de largeurs différentes, différents états de déformation de la tôle sont obtenus. Nadedkar et Narasimhan ont utilisé l'essai Marciniak avec certaines modifications sur la forme de l'éprouvette et du contre-flan. Ils ont introduit des rayons de découpage circulaire sur les éprouvettes (R_S) et sur les contre-flans (R_w) afin de toujours maintenir constante la surface de serrage.

III.3.4 Essai Erichsen

L'essai d'emboutissage de type Erichsen ou expansion sur poinçon hémisphérique est un essai simple qui se réalise sur une tôle maintenue fermement entre le serre-flan et la matrice pour empêcher l'afflux de la tôle dans la zone de déformation.

Le poinçon descend sur la tôle maintenue en contact avec l'outil lubrifié jusqu'à la fissuration du flan. La profondeur mesurée d'emboutissage (mm) donne l'indice d'emboutissage Erichsen 'IE' (norme DIN 50101 et ISO 20482:2003).

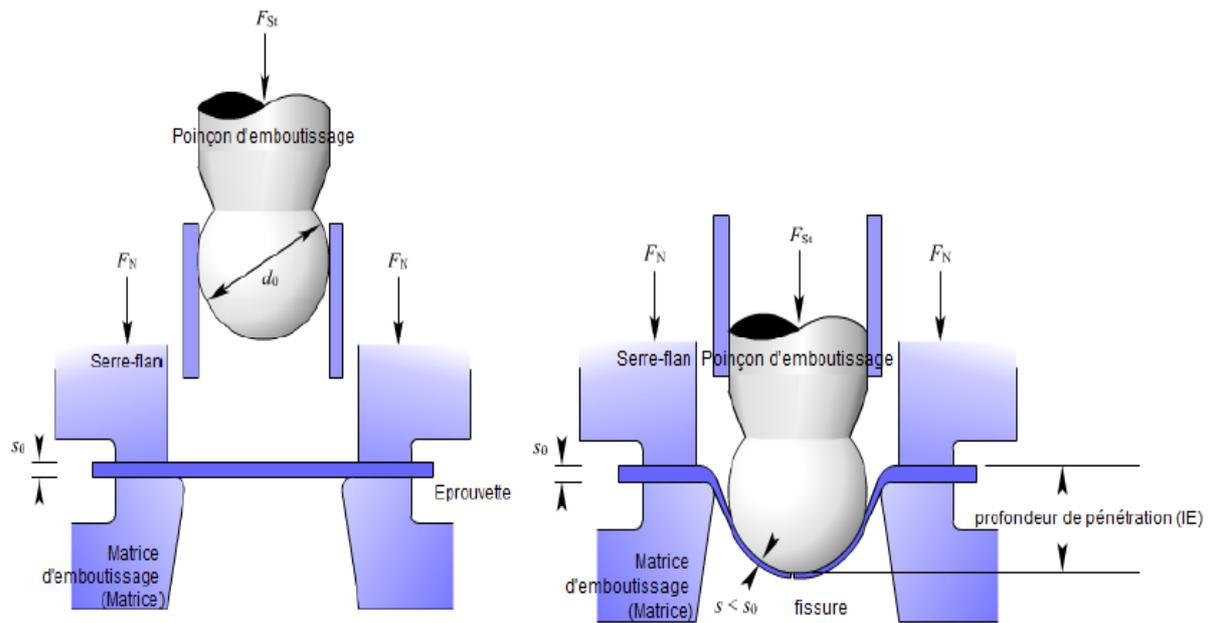


Figure III-9 Essai Erichsen

III.3.5 Essai de gonflement hydraulique

L'essai d'expansion par gonflement hydraulique consiste à déformer sous la pression d'un liquide une tôle serrée entre le serre-flan et la matrice. Cet essai a été initialement proposé par Olsen en 1920 et indépendamment par Jovignot en 1930. Cet essai porte aussi le nom « Bulge Test ». L'emploi de matrice elliptiques avec des valeurs d'excentricité a/b différentes assure la variété des modes de déformation atteints lors de ces essais.

La réalisation de ce type d'essais ne nécessite pas l'utilisation d'une presse. L'avantage principal de l'essai de gonflement hydraulique est l'absence de frottement entre l'outil et la pièce, ce qui aide à déterminer les contraintes dans la pièce qui s'exprime directement en fonction de la pression hydraulique et du rayon de courbure de la tôle.

L'ensemble de ces essais (Nakazima, Marciniak, Erichsen, etc.) est utilisé dans les laboratoires de recherche pour mieux comprendre les phénomènes influençant la qualité de l'embouti dans des conditions industrielles. Même si les pièces industrielles sont bien plus complexes que celle réalisées dans les laboratoires, l'exploitation de plus en plus approfondie des essais simple conduit peu à peu à une meilleure connaissance des phénomènes.

Pour utiliser de manière optimale les essais de laboratoire, mais aussi les essais industriels, des méthodes de mesures de déformations locales sont souvent couplées à ces essais. Les déformations locales ont d'abord été mesurées sur des grilles « manuellement » puis par analyse d'image numérique.

Les derniers développements des méthodes optiques de mesures de déformations permettent de connaître l'évolution de la forme du flan au cours de l'emboutissage et aussi l'évolution temporelle des champs de déformation sur sa surface. Il n'est plus obligatoire de déposer des grilles, l'application d'un mouchetis de peinture est suffisante.

L'ensemble des informations recueillies est beaucoup plus important et de meilleures précisions qu'il y a quelques années. Il doit permettre une meilleure compréhension des phénomènes mis en jeu et en particulier du comportement des matériaux sous chargement complexe. La simulation par éléments finis d'un essai d'emboutissage même d'une pièce simple comme un godet est un bon test pour un modèle de comportement de matériau.

C'est d'ailleurs un essai assez souvent utilisé pour cela dans la bibliographie concernant la mise en forme des aciers à effet TRIP.

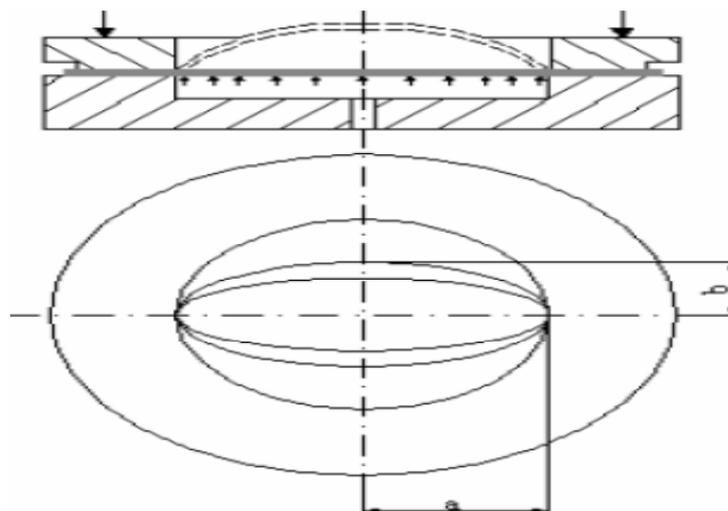


Figure III-10 Essai gonflement hydraulique

III.4 Paramètre d'emboutissage

III.4.1 Paramètres lié à la presse

III.4.1.1 Le jeu entre le poinçon et la matrice

Lorsque l'espace entre le poinçon et la matrice est théoriquement égal à l'épaisseur de la tôle, il se produit une augmentation de l'épaisseur de la paroi. L'augmentation de ce jeu a une influence favorable sous l'effet du poinçon mais entraîne certains inconvénients tels que :

- La détérioration du profil de la paroi.
- Déviation du poinçon entraînant la formation de languettes sur le bord de l'embouti.
- Apparition de plis sur la paroi de l'embouti.

Inversement, si l'épaisseur du flan est plus grande que l'espace existant entre le poinçon et la matrice, il se produit un écrasement et un amincissement indésirables de la paroi. Il est courant d'utiliser des tables donnant le jeu en fonction de l'épaisseur du flan et de la matrice. Elles sont basées sur les formules suivantes : [9]

- Pour l'acier $W = e + 0,07 * (10 * e)^{1/2}$
- Pour l'aluminium $W = e + 0,02 * (10 * e)^{1/2}$
- Pour les métaux non ferreux $W = e + 0,04 * (10 * e)^{1/2}$

a.2. Le rayon sur la matrice

Ce paramètre a une très grande importance autant pour la qualité de l'embouti que pour la répartition des forces. En effet, on comprend parfaitement que dans les deux cas extrêmes ci-dessous, l'emboutissage n'est pas viable.

On observera pour :

- $r = 0$: un déchirement du flan.
- $r = (D-d)/2$: la formation de plis.

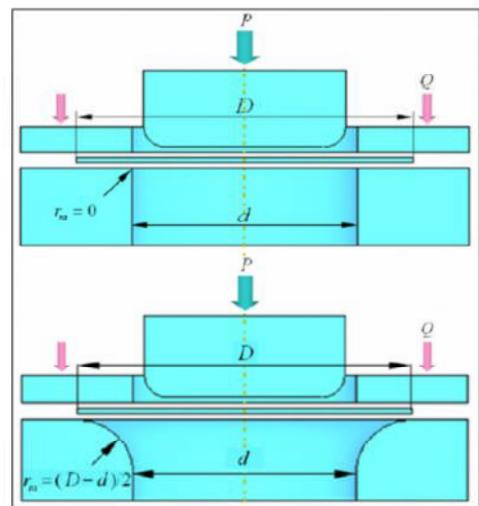


Figure III-11 Variation de l'arrondi sur la matrice

Afin de déterminer le rayon efficace, on utilise cette relation:

- Pour l'acier $r = 0,8 * [(D-d)*e]^{1/2}$
- Pour l'aluminium $r = 0,9 * [(D-d)*e]^{1/2}$

Avec :

D : diamètre du flan (mm)

d : diamètre de l'embouti (mm)

e : épaisseur du flan (mm).

III.4.1.2 Arrondi sur le poinçon

La partie de la tôle qui se trouve en contact avec la surface inférieure du poinçon subit l'action des forces de frottements qui empêchent la matière de bouger. L'effort du poinçon se transmet aux parois de l'embouti. Le poinçon doit contenir un arrondi pour ne pas percer le flan. Généralement, on prend le rayon du poinçon inférieur à celui de la matrice. [9]

III.4.1.3 La vitesse d'emboutissage

Elle se définit comme la vitesse du poinçon au moment de l'attaque de la tôle. Les transformations que subit le métal à froid entraînent un écrouissage de celui-ci dépendant de cette vitesse. Une vitesse trop faible, tend donc à générer un écrouissage trop important sur le métal, le rendant moins malléable.

Une grande vitesse tend à empêcher la propagation de la force du poinçon jusqu'au niveau du flan. Cette altération pouvant alors se traduire par une rupture du flan.

D'après BLISS, il existe une vitesse optimale pour chaque métal : [9]

- Pour l'acier: 200 mm/s
- Pour le zinc : 200 mm/s
- Pour les aciers doux : 280 mm/s
- Pour l'aluminium : 500 mm/s
- Pour le laiton : 750 mm/s

III.4.1.4 La pression du serre-flan

La suppression des plis est un des objectifs majeurs de l'emboutissage. Le rôle du serre-flan consiste à empêcher la formation de plis sur le rebord du flan en exerçant une pression appropriée. La présence du serre-flan ne s'impose que si :

$$d < 0,95 * D \text{ ou } e < 0,2 * (D-d).$$

Dans la pratique, il faut que le serre-flan soit bien trempé et rectifié. La pression est réglée à l'aide de clés dynamométriques, de ressorts ou de caoutchouc, en fonction de l'aspect de l'embouti :

- Si la paroi est sans plis et d'aspect brillant, la pression est adaptée.
- Si la paroi est bonne mais que les bords supportent des marques de dentures, c'est que la pression est trop faible.
- S'il se produit un déchirement lors de la descente du poinçon, c'est que la pression est trop importante.

Ainsi, pour un embouti cylindrique de diamètre d et de flan de diamètre D , la pression des ressorts ou du caoutchouc sera :

- Pour l'aluminium : $0,10 K^8/g.mm^2$
- Pour le zinc : $0,12 K^8/g.mm^2$
- Pour le laiton : $0,20 K^8/g.mm^2$
- Pour les aciers inox : $0,20 K^8/g.mm^2$
- Pour les aciers doux : $0,25 K^8/g.mm^2$

Il est également possible de faire appel à une installation pneumatique ou hydraulique offrant un réglage de la pression plus facile qu'avec un dispositif à ressort ou en caoutchouc.[9]

III.4.1.5 L'effort d'emboutissage

• Emboutissage cylindrique

L'effort nécessaire pour emboutir des pièces cylindriques dépend tout d'abord des diamètres de l'embouti et du flan primitif, de l'épaisseur et de la qualité de la tôle. Il dépend également de la pression de serre-flan, de la vitesse d'emboutissage, de l'arrondi de la matrice, du jeu entre poinçon et matrice et de la lubrification.

Il est difficile de tenir compte de tous ces facteurs dans la détermination de la pression du poinçon, c'est pourquoi il est commun d'employer les formules simplifiées suivantes : [11]

Effort d'emboutissage

$$F_e = \pi \times d \times e \times R_m \times k$$

Avec :

F_e : effort d'emboutissage (daN).

d : diamètre du poinçon (mm).

D : diamètre du flan (mm).

e : épaisseur de la tôle (mm).

R_m : résistance de la tôle à la traction (daN/mm²)

$\frac{d}{D}$	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8
K	1	0.86	0.72	0.6	0.5	0.4

Tableau III-1 Le coefficient K en fonction de d/D

Lorsque l'emboutissage se fait sur une presse à simple effet, l'effort sur le serre-flan est ajouté à l'effort d'emboutissage. [11]

Effort sur serre-flan cylindrique $F_s = P \times (D^2 - d^2) \times \pi/4$ (Kgf)

Avec :

P : pression spécifique sur le serre-flan

Matière (flan)	P (daN/cm ²)
Acier doux	25
Acier inoxydable	20
Laiton	20
Aluminium	12
Duralumin	16

Tableau III-2 : Matériaux du flan et leurs pressions spécifiques

III.4.1.6 La lubrification

Parmi les techniques permettant de maîtriser le frottement, l'adhésion et l'usure entre deux corps, la lubrification est certainement la plus courante et la plus anciennement pratiquée. Elle consiste à intercaler entre les deux corps, un troisième corps de faible scission et de contrainte de rupture faible.

Il est possible de faire un parallèle entre les fonctions du lubrifiant et les problèmes scientifiques rencontrés en emboutissage :

Fonctions	Problèmes scientifiques
1. Diminuer les efforts et énergies de mise en forme.	1. Réduire le coefficient de frottement.
2. Refroidir l'outillage.	2. Augmenter le transfert thermique par convection et conduction.
3. Réduire l'échauffement du métal.	3. Diminuer la température de surface.
4. Obtenir l'état de surface désiré.	4. Rugosité varie dans le même sens que l'épaisseur.
5. Minimiser l'usure de l'outillage.	5. Limiter l'action des agents d'abrasion.
6. Entraîner le produit.	6. Assurer un niveau minimal de frottement.
7. Lubrifier les parties annexes.	7. Assurer la lubrification des paliers.
8. Homogénéiser l'écoulement.	8. Réduire les hétérogénéités de déformations.
9. Eviter le collage produit/outil.	9. Eviter l'adhésion métal/métal.
10. Conserver le produit.	10. Eviter la corrosion atmosphérique.

Tableau III-3 les fonctions du lubrifiant et les problèmes scientifiques rencontrés en emboutissage

Ainsi, une lubrification adaptée facilite l'écoulement de la tôle entre la matrice, le serre-flan et le poinçon. Cependant, la lubrification de la partie centrale du flan a un effet néfaste. On peut expliquer ce phénomène par le fait que lubrifier diminue l'adhérence entre le poinçon et les parois de l'embouti. L'effort est alors concentré sur le fond de l'embouti a

proximité duquel il y a rupture. C'est pour cette raison qu'il n'est utile de lubrifier que la face du flan opposée au poinçon.

Dans le cas d'un poinçon de petit rayon, il est préférable de ne pas lubrifier voir même d'augmenter la rugosité du poinçon afin d'éviter une forte déformation par expansion localisée. [9]

III.4.2 Les avantages et les inconvénients de ce procédé

III.4.2.1 Les avantages

- L'emboutissage est un procédé permettant d'obtenir des pièces de surface non développable à partir de feuilles de tôle mince. C'est à dire qu'il est possible d'obtenir des formes très variées impossible à obtenir avec un tour ou une fraiseuse.
- L'état surface d'une pièce brute d'emboutissage est nettement meilleur que celui d'une pièce coulée. L'esthétique des pièces embouties en est donc bien supérieure et les travaux de finition tel que le polissage sont moins lourds à gérer et surtout moins coûteux.

Cette technique de mise en œuvre offre un bas prix de revient et permet des cadences de production très élevées :

- 100 à 200 pièces par heure pour des pièces de gros volumes (carrosserie automobile par exemple).
 - 3000 à 4000 pièces par heure pour des petites pièces (renfort, capuchon de réservoir).
- [12]

III.4.2.2 Les inconvénients fréquemment rencontrés en emboutissage

- Les zones d'étirement subissent un amincissement (qui doit rester limité pour éviter la rupture) et les zones de rétreint (compression) subissent une combinaison d'épaississement et de plissement.
- Le retour élastique, lorsque le poinçon se retire après la phase de mise en forme, la pièce ainsi formée n'est plus soumise à la force de maintien. Il se produit alors un retrait de la matière. Afin d'atténuer ce phénomène, il est courant de recourir à certains artifices tels que la frappe du rayon, l'étirage en fin de gamme ou le maintien prolongé du poinçon.

- L'entrée de la matrice doit être très arrondie et polie pour éviter toute déchirure du métal et pour optimiser le comportement des zones de retraits.
- Pour obtenir des pièces précises il est nécessaire d'utiliser des logiciels permettant de simuler les retours élastiques de la pièce.
- Le temps de préparation est important.
- La mise au point des outils, poinçon, et matrice est très coûteuse et nécessitant un savoir faire de l'entreprise. [12]

III.5 Le pliage

Le pliage est une opération de conformation à froid qui consiste à déformer une tôle plane en changeant la direction de ses fibres de façon brusque suivant un angle.

Il existe plusieurs techniques pour plier une pièce : [8]

- Pliage en l'air dans une presse-plieuse
- Pliage en frappe, pliage sur plieuse à sommier ou universelle...

III.5.1 Principe du pliage

Le pliage est une déformation obtenue grâce à une force appliquée sur la longueur de la pièce. Celle-ci sera en appui sur 2 lignes d'appuis et s'apparente à la flexion. Il faudra dépasser la limite élastique pour obtenir l'angle voulu. [8]

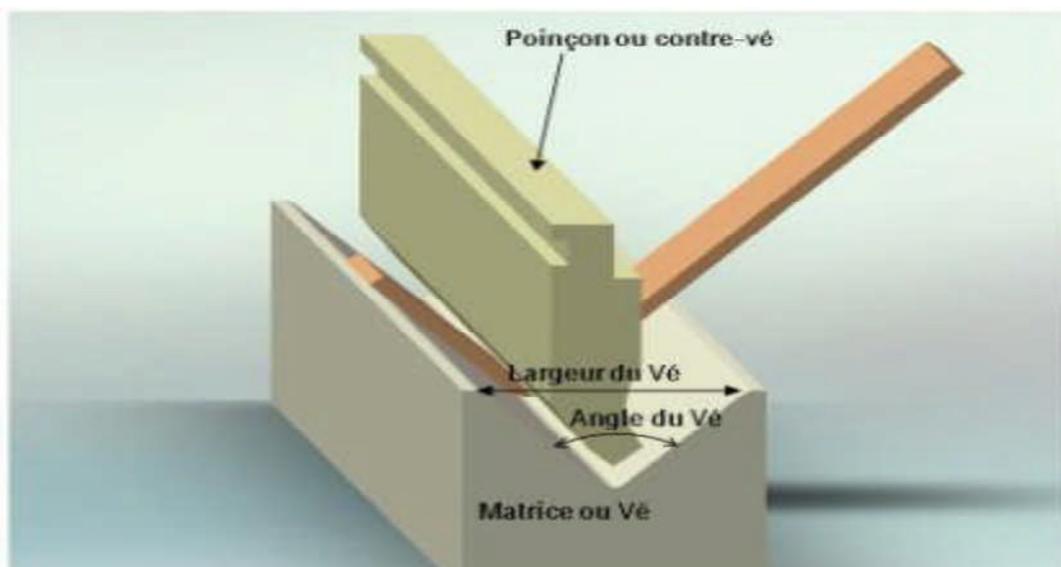


Figure III-12 Principe de pliage

III.5.2 Les différents modes de pliage

Suivant la géométrie des poinçons et les matrices, trois types de pliage sont distingués :
En V, en U et en L. [8]

III.5.2.1 Le pliage en V

Dans le cas du pliage en V, le serre-flan est inutile. La variation de l'angle du V du poinçon et de la matrice entraîne la variation de l'angle de formage de la tôle. Selon la course imposée au poinçon, le pliage est en l'air ou en frappe. [8]

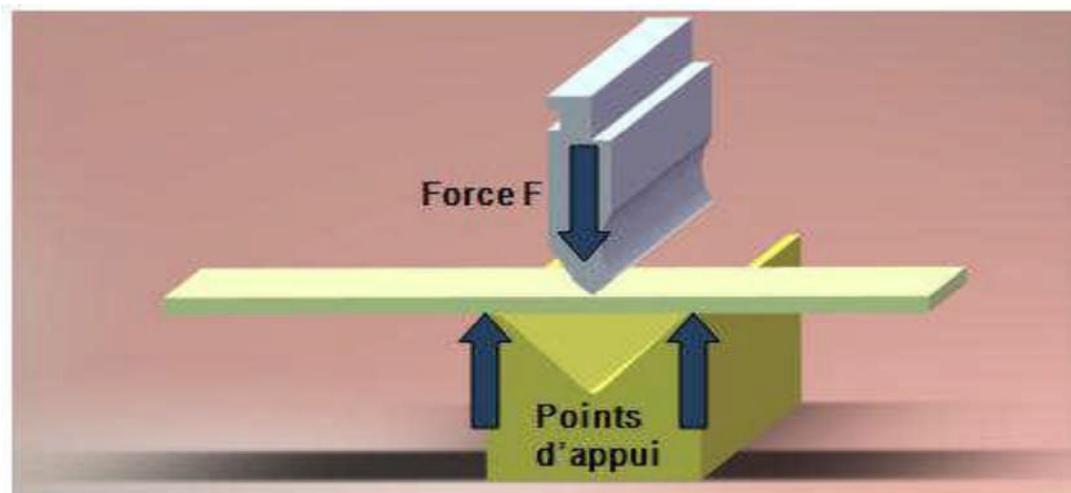


Figure III-13 Pliage en V

- **Pliage en l'air :**

L'effort de pliage cesse quand la tôle arrive en fin de V. L'angle terminal est celui de la forme du V plus le retour élastique de la tôle ($\approx 3^\circ$).

Avec le pliage « en l'air », suivant la position du poinçon en fin de course, différents angles peuvent être obtenus avec le même outillage. [8]

- **Pliage en frappe :**

Cette opération de pliage s'effectue en deux temps. Tout d'abord, un pliage « en l'air » est effectué jusqu'à l'angle désiré. Ensuite, le poinçon descendu rapidement, va frapper et marquer la tôle jusqu'à réduire voire éliminer totalement le retour élastique. L'angle du poinçon et de la matrice sont égaux à l'angle à obtenir. [8]

Cette méthode est réservée à des tôles d'épaisseurs inférieures à 2 mm.

III.5.2.2 Le pliage en U :

Le pliage en U comprend un serre-flan mobile qui bloque la matière sous le poinçon et évite donc les glissements de la tôle lors de la mise en forme entre les deux blocs matrices. [8]

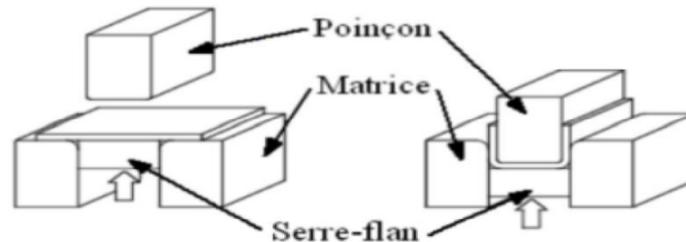


Figure III-14 Pliage en U

III.5.2.3 Le pliage en L :

Le pliage en L ou en tombé de bord consiste à plier un flan en porte-à-faux à 90° maintenu entre la matrice et le serre-flan. [8]

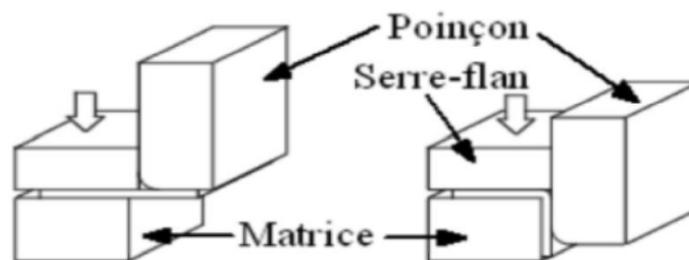


Figure III-15 Pliage en L

III.5.3 Le retour élastique

Lors du pliage d'une pièce à un angle imposé par l'outillage (angle du V_e), 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 de l'épaisseur de la tôle à plier. [8]

Remarque : Le phénomène de retour élastique est quasi inexistant lors du pliage en frappe car on imprime avec force le poinçon dans la pièce, pour dépasser la limite d'élasticité.

III.5.4 Effort 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 : **[8]**

$$F = (L * e * R_c) / 10$$

Tels que :

F : effort de pliage (daN) ;

L : longueur de pli (mm) ;

e : épaisseur de la tôle (mm) ;

R_c : résistance de la tôle au cisaillement (daN/mm²)

III.6 Le découpage

Le découpage est un procédé de fabrication des pièces qui consiste à cisailer sur un contour fermé une pièce de faible épaisseur. Une différence est faite sur les termes : **[8]**

- découpage, afin d'obtenir un pourtour défini selon une forme et des cotes précises.
- poinçonnage, afin d'ajouter une pièce (exemple : une perforation).

III.6.1 Principe

Il consiste à détacher un contour donné d'un produit plat (une tôle). L'opération s'effectue sur une presse qui porte un outil dont les parties travaillantes sont les poinçons et les matrices qui permettent de cisailer la tôle sur sa profondeur en donnant la forme de la pièce désirée.

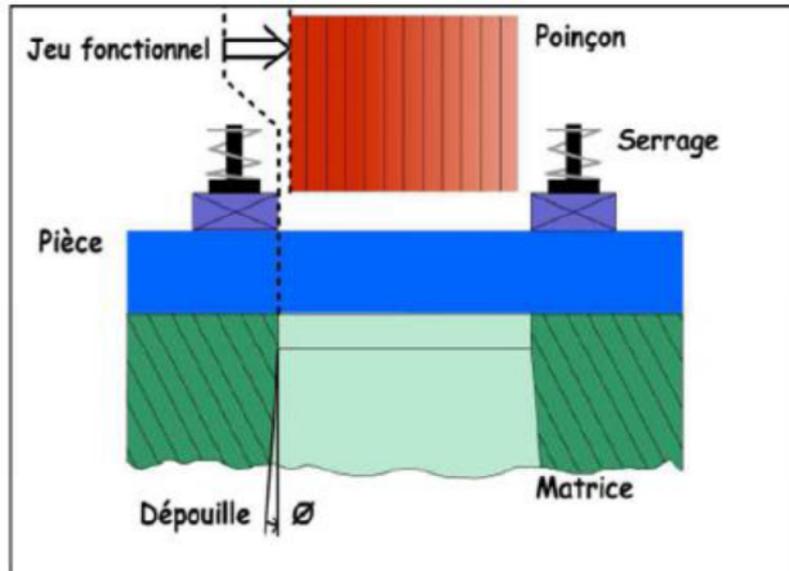


Figure III-16 Principe de découpage

III.6.2 Éléments principaux constituant un outil de découpe

- **Le poinçon** : Pièce pleine dont la base possédant la forme de la pièce à découper. Il est de section constante.
- **La matrice** : Pièce ajourée de façon à ce que le poinçon s'ajuste dans l'ouverture avec un ajustement de jeu déterminé. Elle comporte une dépouille d'environ 5% pour éviter le laminage des flans sur une trop grande longueur, et réduire l'effort fourni par la presse.

III.6.3 Quelques Types de découpage

III.6.3.1 Le grignotage

C'est le poinçonnage partiel par déplacement progressif de la tôle ou du poinçon. [8]

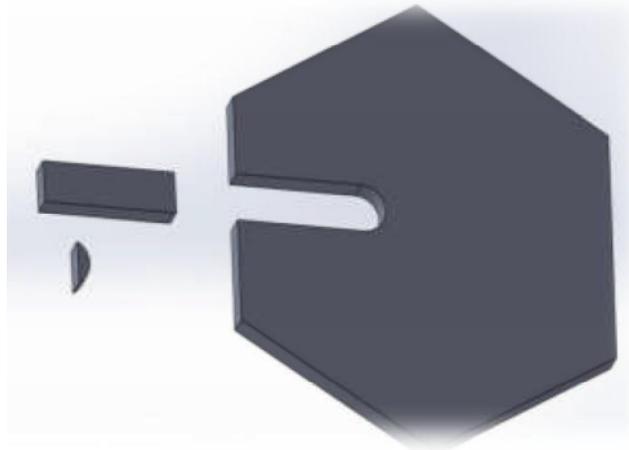


Figure III-17 Le grignotage

III.6.3.2 Crevage

C'est un découpage partiel, il consiste à ne pas détacher la chute avec la pièce. [8]

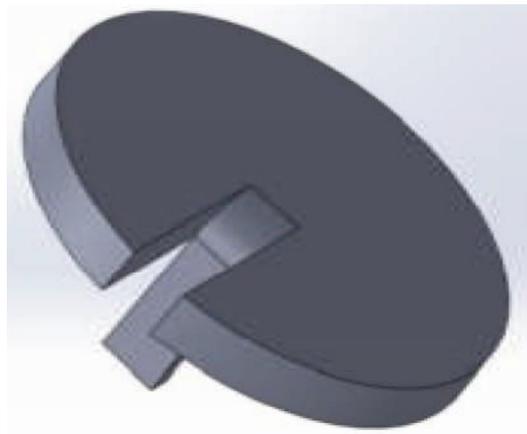


Figure III-18 Crevage

III.6.3.3 Ajourage

C'est une opération de découpage dans un flan des trous de formes différentes. [8]

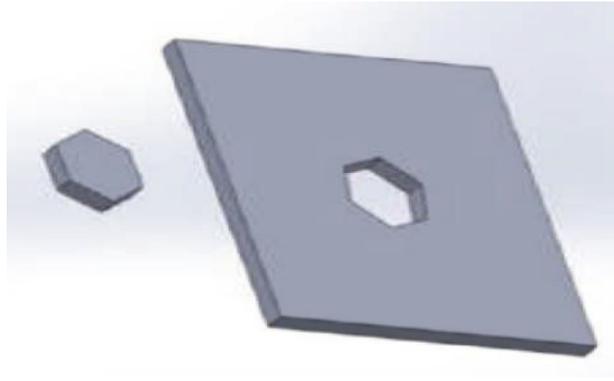


Figure III-19 Ajourage

III.6.3.4 Détourage

Finition d'un contour déjà ébauché, modifié au cours d'une déformation. Il consiste à enlever par découpage un excédent de métal autour d'une pièce préalablement formée : le détourage est alors la dernière opération de formage. Suivant le type de pièce, on trouve plusieurs techniques :

- les collerettes, après emboutissage, ne sont jamais régulières, il est possible de leur donner une forme régulière par détourage ;
- lorsqu'on ne désire pas de collerette, l'arête de l'outil découpe suivant un bord non perpendiculaire à la surface de la tôle. [8]

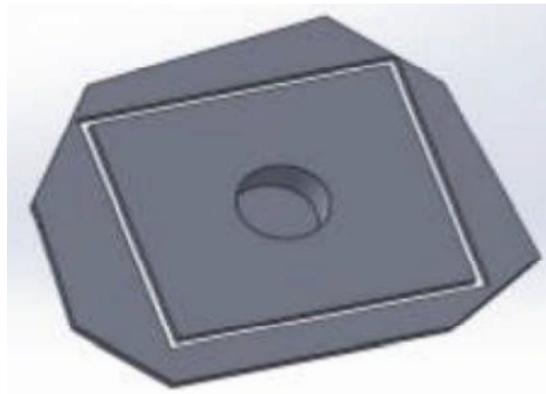


Figure III-20 Détourage. Dans ce cas enlever ce qui est en dehors du rectangle

III.6.3.5 Soyage

Le soyage est la réalisation d'un collet (relevage des bords d'un trou) obtenu soit, après poinçonnage d'un trou, soit à l'aide d'un poinçon épaulé qui poinçonne le trou dans le vide et relève les parois de ce dernier, en même temps. [8]

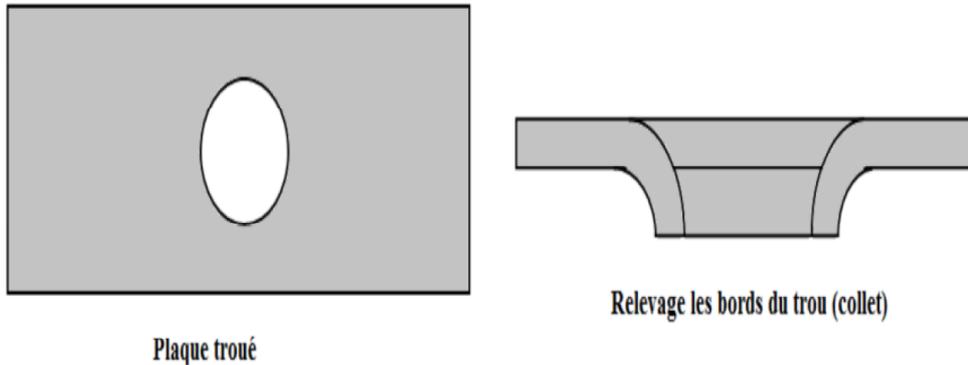


Figure III-21 Soyage

III.6.4 Effort de découpage et d'extraction

III.6.4.1 Effort de découpage

C'est l'effort nécessaire au découpage d'une pièce donnée, il est égal au produit du périmètre (P) de la pièce par son épaisseur (e) et par la résistance (Rc) à la rupture au cisaillement du métal à découper. [8]

$$F = P * e * Rc$$

Tels que :

F : efforts de découpage (daN) ;

P : périmètre de la surface à découpé (mm) ;

e: épaisseur de la surface à découpé (mm);

Rc : résistance au cisaillement de la tôle à découpé (daN/mm²).

Le tableau suivant indique la valeur de la résistance au cisaillement pour les matériaux les plus utilisés:

Matériaux	Rc (daN/mm ²)
Acier dur	70
Acier inoxydable	55
aluminium	10
Cuivre	20

Tableau III-4 Résistance au cisaillement (Rc) de quelques matériaux

III.6.4.2 Effort d'extraction

C'est l'effort nécessaire pour dégager le poinçon de la zone de découpage, il varie de 2 à 7 % de celui de découpage soit : [8]

- 7 % de l'effort de découpage en pleine tôle ;
- 2 % si la chute de découpage est faible.

III.6.5 Contraintes sur les poinçons

III.6.5.1 Contrainte de compression

Lorsque le poinçon descend avec un effort opposé à la bande de tôle, il est sollicité à une compression. La contrainte de compression de l'outil est calculée suivant la formule si-dessous.

$$\sigma_{com} = \frac{F}{S}$$

La condition de résistance de l'outil à la compression est que cette contrainte sollicitée ne doit pas dépasser la limite élastique du matériau à partir duquel poinçon est fabriqué. [13]

$$\sigma_{com} < Re$$

Avec :

σ_{com} : Contrainte de compression, (en MPa),

R_e : La limite élastique du poinçon, (en MPa),

F : Effort de découpage, (en N),

S : Section du poinçon, (en mm²).

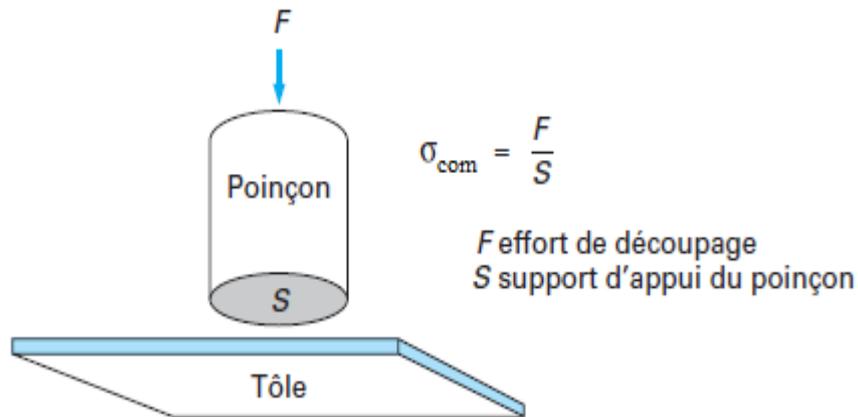


Figure III-22 Contrainte de compression sur le poinçon

Dans le cas des poinçons ayant de petites sections ou de grandes longueurs, la contrainte la contrainte de compression peut provoquer un flambement du poinçon. Alors, on prévoit toujours un de flambement d'un tel poinçon. Pour cela, on détermine la charge critique (P_{cr}) en utilisant la formule du flambement d'Euler. Dans le cas des outils à bande, les poinçons sont encastés d'un côté, et libre de l'autre côté.

La condition de résistance est que l'effort de découpage ne doit pas dépasser la charge critique de flambement du poinçon, comme le montre la relation suivante : [13]

$$P_{cr} = \frac{\Pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2}$$

Avec :

F : L'effort de découpage, (en N),

P_{cr} : La charge critique du flambement, (en N),

E : Module d'élasticité du matériau du poinçon, (en MPa),

I : Moment d'inertie du poinçon, (en mm⁴),

l : Longueur libre de flambement, (en mm).

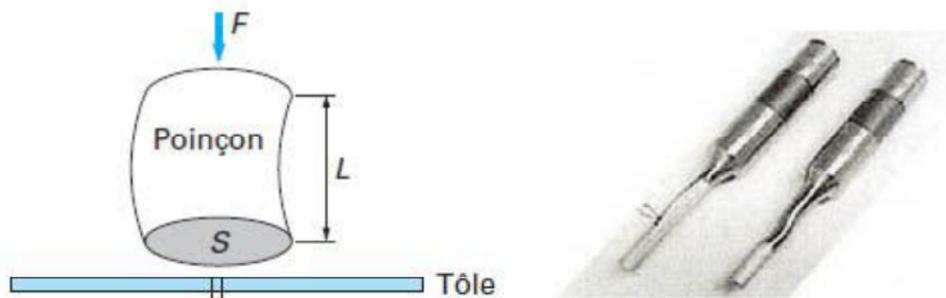


Figure III-23 L'état d'un flambement du poinçon de découpage

III.7 Le poinçonnage

Le poinçonnage est une opération de découpage qui consiste à exécuter un trou dans le métal, à l'aide d'un poinçon qui enlève la matière en totalité d'un seul coup.

Le poinçonnage est, selon le corps de métier, une marque ou poinçon laissés sur un objet ou une perforation occasionnée par une poinçonneuse.

Le poinçonnage s'exécute soit à la main, pour des travaux unitaires et peu précis, à l'aide de petit poinçon manuel, soit à la machine (qui est le but de notre travail) pour les travaux de grandes séries et de bonne précision dimensionnelle. [12]

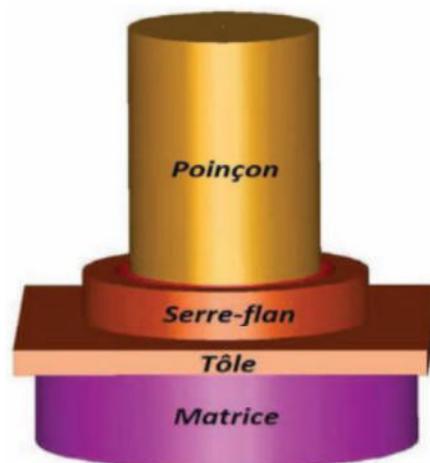


Figure III-24 Poinçonnage d'une tôle

III.7.1 Principe

On appelle le poinçonnage, le cisailage sur un contour fermé, effectué par un poinçon agissant sur une matrice. Le principe reste le même que pour le cisailage. La rupture s'effectue donc après un effort de traction.

Généralement, le poinçonnage est utilisé en tôlerie pour réaliser des trous et découper des flans de formes complexes parfois non rectangulaires, donc difficiles ou impossibles à réaliser par cisailage.

Utilisé aussi en construction métallique pour percer les profilés.

Il existe trois modes possibles de poinçonnage : [12]

- Le poinçonnage classique : enlèvement de matière par simple réalisation de trous.
- Le grignotage : qui consiste à découper un pourtour intérieur ou extérieur par des multiples coups de poinçon.
- Le découpage à la presse : découpe de flan à l'aide d'un outillage spécifique.

L'opération de poinçonnage passe par plusieurs étapes :

- Figure A: Légère contrainte de compression;
- Figure B: Fibres superficielles coupées, fibres internes en extension;
- Figure C: Forces et contraintes de compression, dépassement de la limite élastique;
- Figure D: Rupture par extension des fibres.

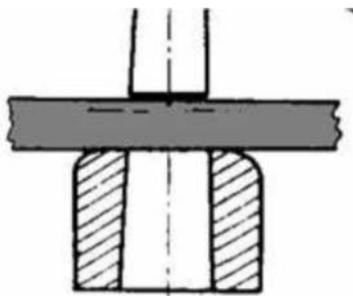


Figure A

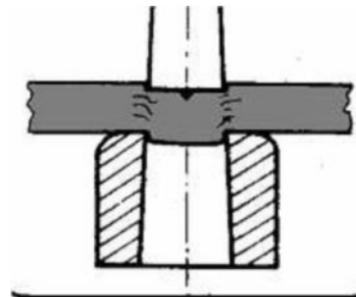


Figure B

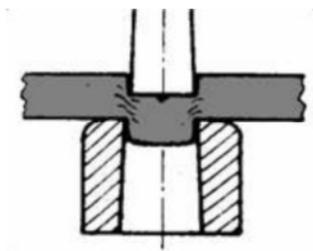


Figure C

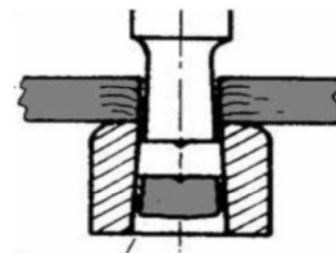


Figure D

Figure III-25 Les différentes phases de poinçonnage

III.7.2 Application

Ce Procédé est simple et rapide. Le poinçonnage permet la réalisation des pièces très diverses, il peut être couplé à des opérations d'emboutissages et d'assemblages, il est réservé aux grandes séries. [12]

III.7.2.1 Présentation du poinçon et la matrice

- **Le poinçon**

Il est composé de plusieurs parties :

- Le corps du poinçon: possède une longueur variable pour monter et serrer l'outil;
- La tête: porte les arêtes tranchantes ;
- La mouche(ou téton) : utile pour positionner l'outil dans les coups de pointeaux préalablement réalisés à cet effet. Ils ont été effectués dans l'axe du trou à réaliser;
- Un angle de dépouille (entre 2 à 3°): pour limiter les frottements. [12]

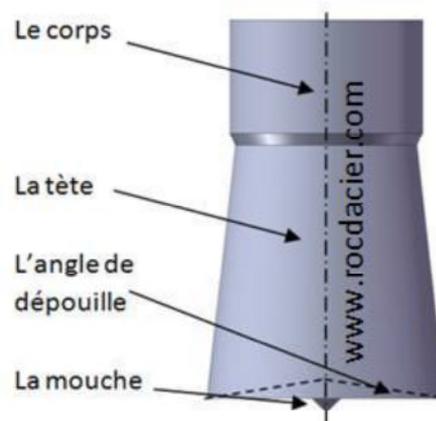


Figure III-26 Poinçon

Remarque : Sur les presses et les grignoteuses, les outils ne possèdent pas forcément l'angle de dépouille.

- **La matrice**

Elle est le support d'empreinte du poinçon. À son axe elle comporte un trou aux formes et dimensions du poinçon, auquel on ajoute un jeu de quelques dixièmes de millimètres. [12]



Figure III-27 Matrice

III.7.2.2 Le jeu (entre le poinçon et le matrice)

Tout comme en cisailage, un jeu est nécessaire entre les arêtes des outils. Ce jeu diminue l'effort de poinçonnage et l'écroûissage de la zone poinçonnée. Ce jeu de poinçonnage sera proportionnel à l'épaisseur poinçonnée et dépendra de la résistance du métal, il permet également de garantir une coupe nette est franche. [12]

Donc :

$$2j = D - d$$

Tels que:

j: jeu (mm)

D: diamètre de la matrice (mm)

d: diamètre du poinçon (mm)

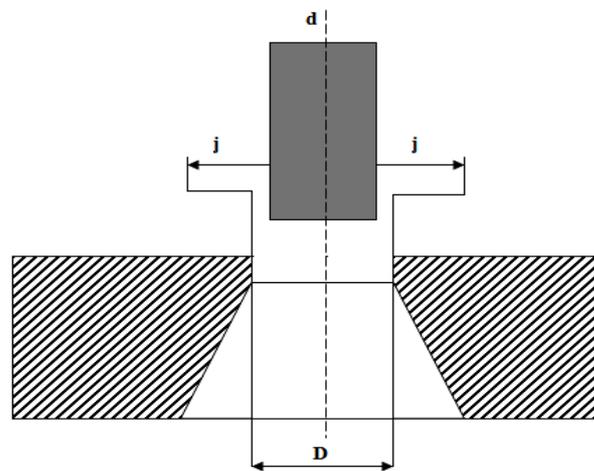


Figure III-28 Le jeu entre le poinçon et la matrice

- pour le découpage le jeu est à prendre sur le poinçon.
- pour le poinçonnage le jeu est à prendre sur la matrice.

La valeur du jeu s'évalue en fonction de l'épaisseur de la bande :

- Laiton et acier doux : 1/20^{ème} de l'épaisseur de la bande.
- Acier dur : 1/15^{ème} de l'épaisseur de la bande.
- Aluminium : 1/10^{ème} de l'épaisseur de la bande.

III.7.2.3 Effort de poinçonnage

L'effort de poinçonnage dépend de l'épaisseur, du périmètre de la section du trou, de la résistance du métal, et les frottements qui sont généralement négligés. Une lubrification est conseillée pour ne pas user prématurément les outils. Par conséquent, la section minimale de poinçonnage dépend de l'effort de poinçonnage, de la forme et de la surface de la section poinçonnée et aussi de la longueur de flambage de l'outil. [8]

Voici la formule générale de calcul des efforts de poinçonnage :

$$F = P * e * Rc$$

Tels que:

F = effort de poinçonnage (daN) ;

P = périmètre du poinçon (mm) ;

e = épaisseur de tôle (mm) ;

Rc = résistance du matériau au cisaillement (daN/mm²)

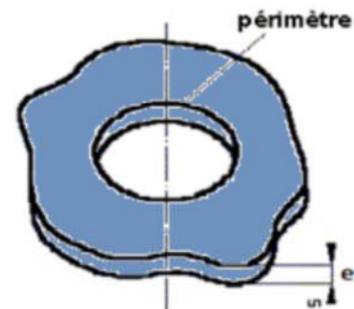


Figure III-29 Périmètre de découpage

III.7.3 Avantages et inconvénients du poinçonnage

III.7.3.1 Avantages

- Par rapport au perçage, le poinçonnage est extrêmement économique (gain de temps, usure moindre des outils, affutage peu fréquent) et donne la possibilité d'utiliser toute sortes de formes pour les trous.
- Par rapport au découpage à la presse, le grignotage sur commande numérique permet de changer de série en minimisant les couts d'outillages et de découper de grands formats, et d'utiliser des outils simples et peu onéreux. [12]

III.7.3.2 Inconvénients

- Limité dans les épaisseurs.
- Section minimale du poinçon limitée. [12]

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques procédés de mise en forme des matériaux en feuilles les plus utilisés dans le monde de l'industrie entrant dans la fabrication de notre pièce; soient l'emboutissage, et le découpage.

Dans le prochain chapitre, nous présenterons une étude et une conception de l'outil d'emboutissage.

*Chapitre IV: Etude et conception de
l'outil*

Introduction

Au cours de ce chapitre nous allons présenter notre sujet d'étude en premier temps, en suite nous passerons aux calculs des efforts de découpage et d'emboutissage en tenant compte des différents paramètres de ces procédés de mise en forme des matériaux.

Ainsi nous allons définir les pièces formant notre outil (moule à emboutissage) et on clôture notre chapitre par la mise en plan de ces dernières.

IV.1 Cahier des charges

La pièce à réaliser est « la plaque d'immatriculation automobile » dont les caractéristiques sont présentées dans la troisième partie du premier chapitre. Le cahier des charges est fourni par l'entreprise et est présenté ci-après.

IV.1.1 Composition chimique du matériau (NF EN 573-3)

Composition chimique													
Coulée	Si	Fe	Cu	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Zr	Pb	Cd	Hg	Mn
Y60801-1	0.08	0.28	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

Tableau IV-1 Caractéristique chimique du matériau

IV.1.1.1 Caractéristiques

Aluminium 1050 H42

IV.1.1.2 Caractéristiques mécaniques (NF EN 1396)

Rm = 97 MPa

IV.1.1.3 Aptitude au revêtement de surface

La pièce recevra deux types de couche, le solide file et le film réfléchissant

IV.1.2 Emplacement de la pièce

La pièce se monte en avant et en arrière du véhicule.



Figure IV-1 Emplacement de la pièce

Le travail consiste en l'étude et la conception d'un moule à emboutissage de la plaque d'immatriculation automobile, afin de remédier aux problèmes rencontrés sur le moule disponible au niveau de l'entreprise.



Figure IV-2 Moule à emboutissage

IV.2 Processus de fabrication

Le processus de fabrication de cette plaque d'immatriculation automobile passe par deux étapes :

- **1ère étape :**

Elle consiste à découper des bandes à partir de tôle fournie en format commercial standard sous forme des bobines.

- **2ème étape :**

Elle consiste à emboutir la plaque après lui avoir donnée une forme dans la première étape.

IV.3 Calcul des efforts

IV.3.1 Calcul de l'effort de découpage

- **Le jeu de découpage**

La valeur du jeu s'évalue en fonction de l'épaisseur de la bande :

Aluminium : 1/10^{ème} de l'épaisseur de la bande.

$$e = 0.9 \text{ mm}$$

Application numérique :

$$J = 0.9 \div 10$$

$$J = 0.09 \text{ mm}$$

- **Effort de découpage**

$$F_d = P \times e \times R_c$$

Avec :

F_d : effort de découpage

P : périmètre à découper

e : épaisseur de la tôle (0.9mm)

R_c : résistance du matériau au cisaillement (10 daN/mm²)

Calcul du périmètre :

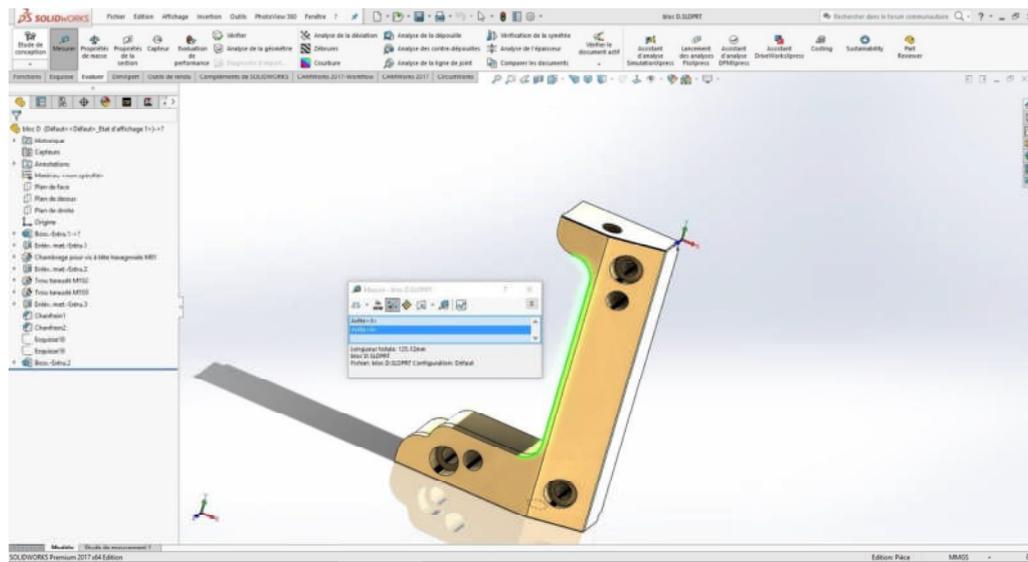


Figure IV-3 Mesure du périmètre du poinçon

Le périmètre est calculé avec le logiciel SolidWorks par la fonction « mesurer »

$$P = 125.12 \text{ mm}$$

Remarque: Il existe deux poinçons.

Application numérique :

$$F_d = 125.12 \times 0.9 \times 10 \times 2$$

$$F_d = 2252.16 \text{ daN}$$

IV.3.2 Effort d'emboutissage

- Le jeu entre le poinçon et la matrice :

Pour l'aluminium :

$$W = e + 0,02 \times (10 \times e)^{1/2}$$

Application numérique :

$$W = 0.9 + 0.02 \times (10 \times 0.9)^{1/2}$$

$$W = 0.96 \text{ mm}$$

- **Le rayon sur la matrice :**

- **r = 0** : un déchirement du flan.
- **r = (D-d)/2** : la formation de plis.

Afin de déterminer le rayon efficace pour une tôle en aluminium, on utilise la relation suivante :

$$r = 0,9 * [(D-d)*e]^{1/2}$$

Application numérique :

$$r = 0.9 \times [(109.6 - 101) \times 0.9]^{1/2}$$
$$r = \mathbf{2.5 \text{ mm}}$$

Remarque :

Dans notre cas on ne peut pas appliquer ce paramètre car notre profondeur d'emboutissage est inférieure au rayon de la matrice.

- **Arrondi sur le poinçon :**

Généralement, on prend le rayon du poinçon inférieur à celui de la matrice.

- **La vitesse d'emboutissage**

Pour l'aluminium : 500 mm/s

- **La pression du serre-flan**

La présence du serre-flan ne s'impose que si :

$$d < \mathbf{0,95 D} \text{ ou } e < \mathbf{0,2 (D-d)}.$$

Vérification avec la formule suivante : **e < 0,2 (D-d)**.

Application numérique:

$$0,2 (D-d) = 0.2 (109.6 - 101) = 1.72 \text{ mm}$$

L'épaisseur de la tôle étant égale à 0.9 mm, la relation citée ci-dessus est vérifiée. De ce fait, notre moule ne nécessitera pas la présence d'un serre-flan

- **L'effort d'emboutissage :**

$$F_e = P_e \times e \times R_m \times K$$

Avec :

F_e : effort d'emboutissage en (N)

P_e : périmètre du poinçon d'emboutissage (mm)

e : épaisseur de la tôle (0.9 mm)

R_m : résistance de la tôle à la traction (97 MPa)

$K = f(d/D)$

$d = 101 \text{ mm}$; $D = 109.6 \text{ mm}$

$\frac{d}{D}$	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8
K	1	0.86	0.72	0.6	0.5	0.4

Calcul de K :

$K = d / D$

Application numérique :

$$K = \frac{101}{109.6}$$

$$K = 0.4$$

Calcul du périmètre :

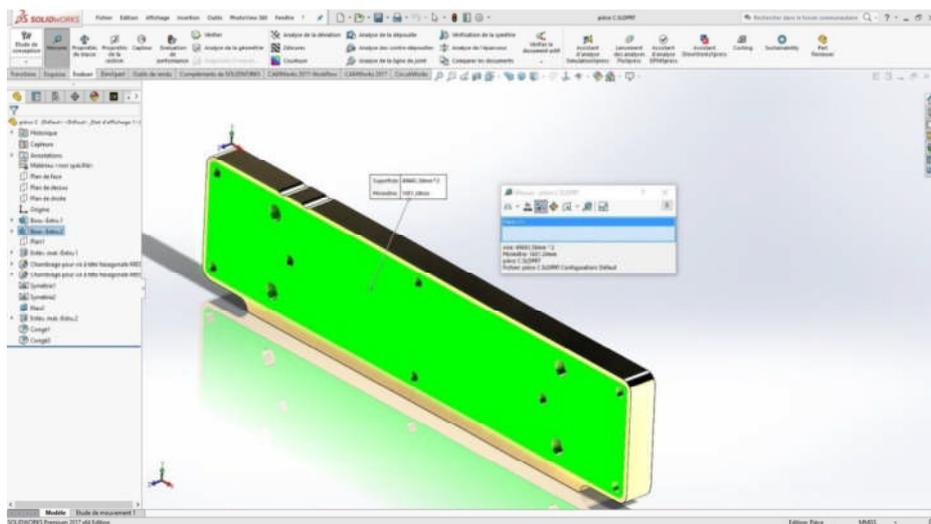


Figure IV-4 Mesure du périmètre du poinçon d'emboutissage

Le périmètre est calculé avec le logiciel 'Solidworks' par la fonction « mesurer ».

$$P_e = 1651.24 \text{ mm}$$

Calcul de l'effort d'emboutissage :

Application numérique :

$$F_e = 1651.24 \times 0.9 \times 970 \times 0.4$$

$$F_e = 57661.3 \text{ N}$$

IV.3.3 Calcul des poinçons à la compression :

Condition de résistance : $\sigma_{com} < Re$

$Re = 750 \text{ MPa}$ (la limite élastique de l'acier Z200C12)

$$\sigma_{com} = \frac{F}{S}$$

Avec :

F : effort de découpage ou d'emboutissage.

S : section du poinçon

- Poinçon

$F_d = 11260.8 \text{ N}$ (effort de découpage / 2)

$S_l = 6113.4 \text{ mm}^2$ (mesuré sur SolidWorks)

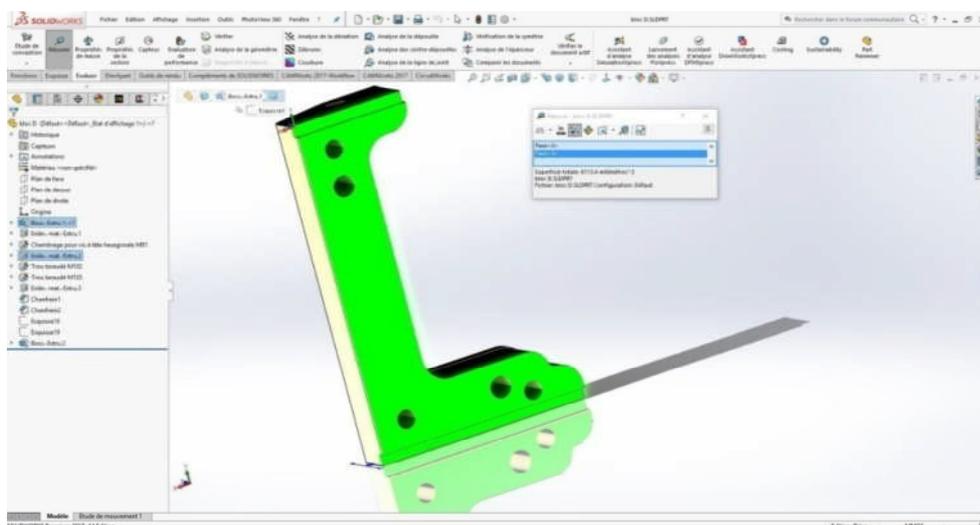


Figure IV-5 Mesure de la surface S1 du poinçon

$$\sigma_{com1} = \frac{Fd}{S1}$$

Application numérique : $\sigma_{com1} = \frac{11260.8}{6113.4} = 1.84 \text{ N/mm}^2$

- **Pièce rapporté :**

$F_d = 11260.8 \text{ daN}$ (effort de découpage / 2)

$F_e = 2883.06 \text{ daN}$ (effort d'emboutissage / 2)

$S_2 = 8343.21 \text{ mm}^2$ (mesuré sur SolidWorks)

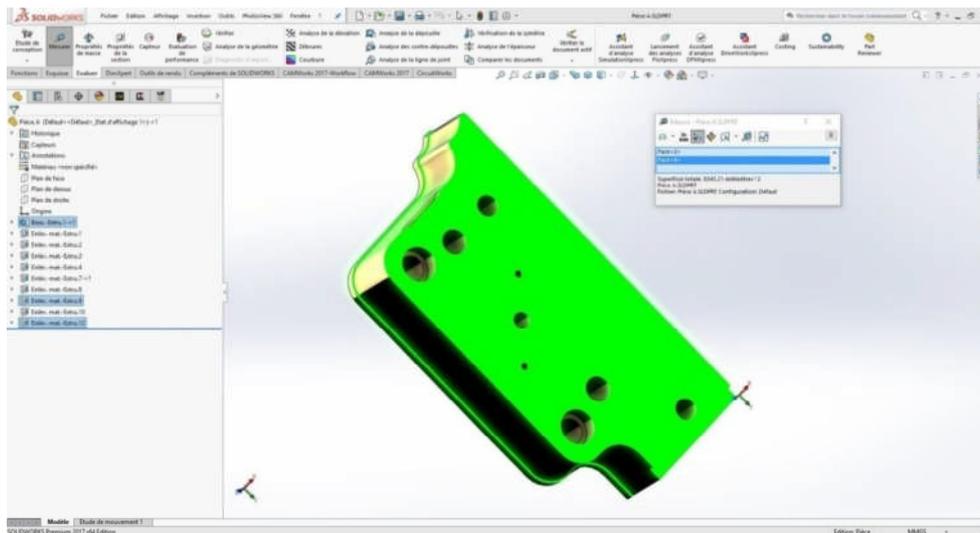


Figure IV-6 Mesure de la, surface S2 de la pièce rapporté

$$\sigma_{com2} = \frac{Fd}{S2}$$

Application numérique: $\sigma_{com2} = \frac{11260.8}{8343.21} = 1.34 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_{com2} = \frac{F_e}{S_2}$$

Application numérique: $\sigma_{com2} = \frac{28830.6}{8343.21} = 3.45 \text{ N/mm}^2$

- **Poinçon d'emboutissage**

$F_e = 57661.3 \text{ N}$ (effort d'emboutissage)

$S_3 = 59743.34 \text{ mm}^2$

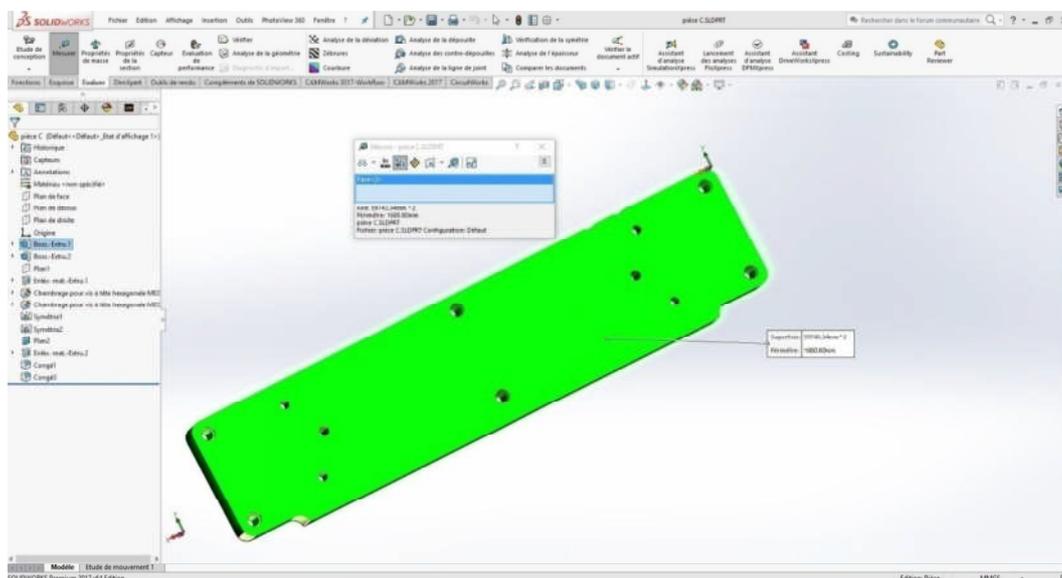


Figure IV-7 Mesure de la, surface S3 du poinçon d'emboutissage

$$\sigma_{com3} = \frac{F_e}{S_3}$$

Application numérique : $\sigma_{com3} = \frac{57661.3}{59743.34} = 0.96 \text{ N/mm}^2$

- **Matrice**

$F_e = 57661.3 \text{ N}$ (effort d'emboutissage)

$S_d = 64600 \text{ mm}^2$

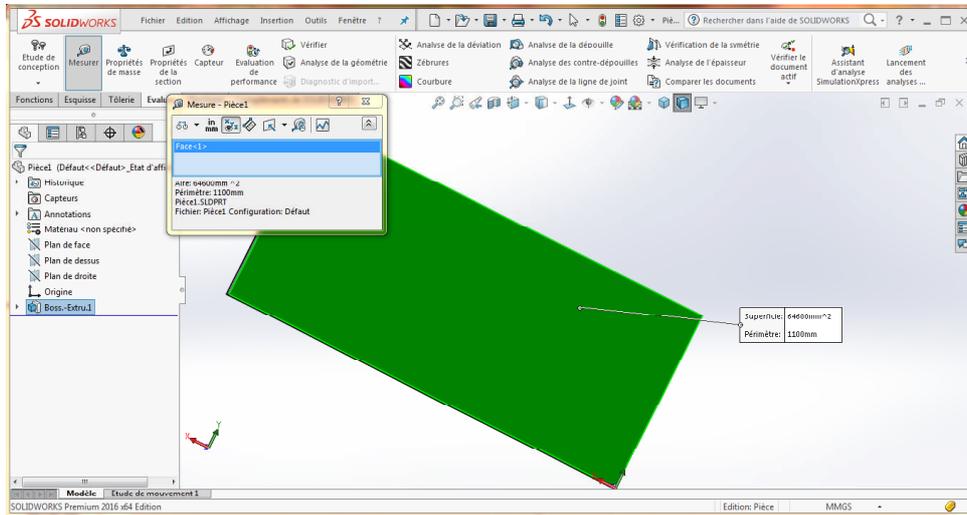


Figure IV-8 Mesure de la surface S4 de la matrice

$$\sigma_{com4} = \frac{F_e}{S_4}$$

Application numérique : $\sigma_{com4} = \frac{57661.3}{64600} = 0.89 \text{ N} / \text{mm}^2$

IV.4 Calcul de l'effort total :

$$E_{tot} = F_d + F_e$$

Avec :

F_{tot} : effort total de découpage et de poinçonnage (daN)

F_d : effort découpage (daN)

F_e : effort poinçonnage (daN)

Application numérique :

$$F_{\text{tot}} = 2252.16 + 5766.13$$

$$F_{\text{tot}} = 8018.29 \text{ N}$$

IV.4.1 Choix de la presse à utilisée :

La force produite provient de la presse à utiliser, elle doit produire un effort supérieur à la somme des efforts (effort total de l'outil).

$$F_{\text{pr}} > F_{\text{tot}}$$

Avec :

F_{pr} : Effort de la presse, (en daN)

F_{tot} : Effort total de découpage-poinçonnage, (en daN)

$$F_{\text{pr}} > 8 \text{ Tonnes - Force}$$

Pour notre cas, la presse disponible au niveau de l'atelier est une presse hydropneumatique avec une capacité de 50 tonnes – force.

IV.5 Conception de l'outil

L'outil proposer dans cette étude est un moule à emboutissage, généralement fait pour des moyens ou grandes séries, il doit être rentable et fiable, il est constitué des éléments suivants :

IV.5.1 Partie inférieure

- **Semelle inférieure**

C'est une plaque en A60 sur laquelle les matrices sont ajustées ; son épaisseur doit être suffisante pour résister surtout aux efforts de compression lors des opérations de découpage et d'emboutissage.

- **La matrice**

Elle est faite en Z200 C12 pour mieux résister aux différents efforts tels que le découpage, emboutissage, et doit être suffisamment épaisse pour éviter les déformations.

- **Les colonnes de guidage**

Elles sont emmanchées sur la semelle inférieure, elles coulissent dans les bagues de guidage supérieures avec glissement.

- **Les bagues de centrage**

Elles servent à positionner et à fixer les colonnes de guidage sur la semelle inférieure. Elles sont faites en XC 48.

- **Les goupilles**

Elles servent à positionner le flan ; limitant ainsi son déplacement et assure un bon guidage.

- **Plaque éjectrice**

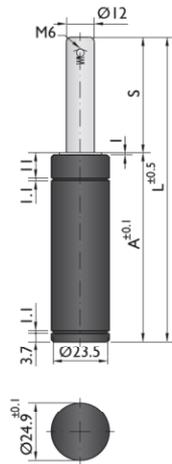
Elle est constituée d'un plat 50 x 10 en ABS (Acrylonitrile butadiène styrène) et de deux vérins de marque NITROGAS (K200-12), son rôle est d'assurer l'éjection de la plaque après l'opération de découpage et d'emboutissage.

Remarque :

Les caractéristiques du vérin sont :

NITROGAS K-200

Low Profile - High Force

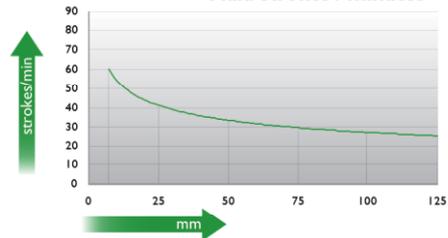


Force / Pressure

		daN	bar (20°C)
V	GREEN	50	45
Z	BLUE	100	90
R	RED	150	135
A	YELLOW	200	180

* maximum force if not specified

Max. strokes / minutes



Ordering example: 4 x K-200-125 V

Order No.	S ⁽¹⁾ mm	L mm	A mm	F ₀ ⁽²⁾ daN (20°C, 180 bar)	F daN	kg
K-200-7	7	46	39	200	300	0.11
K-200-12	12	56	44		300	0.12
K-200-16	16	64	48		300	0.13
K-200-25	25	82	57		310	0.15
K-200-38	38	108	70		310	0.18
K-200-50	50	132	82		310	0.21
K-200-63	63	158	95		310	0.24
K-200-80	80	192	112		310	0.28
K-200-100	100	232	132		310	0.30
K-200-125	125	282	157		310	0.33

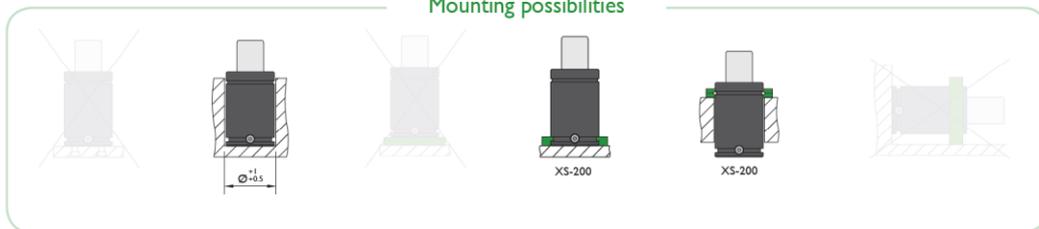
⁽¹⁾ other strokes under request

⁽²⁾ alternative forces upon request



Pressure medium	N ₂	Working temperature	0-80°C	Min. security stroke	10%
Max. Charging pressure	180 bar	Temperature related force increase	+0.34%/°C	Repair Kit	KIT K-200
Min. Charging pressure	25 bar	Max. working speed	1.6 m/s	Linkable	No

Mounting possibilities



- **Guide plaque**

Il assure le guidage de la plaque sur la matrice.

IV.5.2 Partie supérieure

- **Semelle supérieure**

C'est une plaque en A60 sur laquelle les poinçons sont ajustés, son épaisseur doit être suffisante pour résister surtout aux efforts de compression lors des opérations de découpage et d'emboutissage.

- **Bague de guidage**

Elles sont emmanchées sur la semelle supérieure, elles assurent le guidage des colonnes par glissement.

- **Les poinçons**

Ce sont les éléments qui travaillent le plus au sein de l'outil donc leur calcul est éminent. Ils assurent le découpage et l'emboutissage de la plaque. Ces derniers sont fixés directement sur la semelle supérieure. Ils sont faits avec du Z200 C12.

- **Anneau de levage**

Il sert au levage de la partie supérieure du moule.

IV.6 Mise en plan

Dans cette partie du travail nous avons utilisé le logiciel SolidWorks pour faire ressortir les différentes caractéristiques dimensionnelles et géométriques des pièces constituant l'outil et ce à l'aide des mises en plan qui suivent. Ainsi, les différentes pièces constituant l'outil tracées à l'aide du logiciel sont présentées en annexe.

Planche 1 : outil complet

Planche 2 : partie fixe et partie mobile

Planche 3 : partie fixe

Planche 4 : S/ENS porte matrice

Planche 5 : semelle inférieure

Planche 6 : plat 60 x 30

Planche 7 : plat 60 x 40

Planche 8 : colonne de guidage

Planche 9 : bague de centrage

Planche 10 : S/ENS matrice

Planche 11 : matrice

Planche 12 : pièce rapporté

Planche 13 : S/ENS plaque éjectrice

Planche 14 : plat 50 x 10

Planche 15 : S/ENS guide plaque

Planche 16 : 30 x 20

Planche 17 : Axe 18 x 38

Planche 18 : Axe 15 x 45.5

Planche 19 : Axe 13.5 x 52

Planche 20 : partie mobile

Planche 21 : S/ENS porte poinçons

Planche 22 : semelle supérieure

Planche 23 : bague de guidage

Planche 24 : S/ENS poinçons

Planche 25 : poinçon d'emboutissage

Planche 26 : poinçon

Conclusion générale

Le présent projet nous a permis d'acquérir de nouvelles connaissances, de tester des notions déjà acquises, mais aussi de savoir réfléchir et réagir face à des problèmes pratiques.

Nous avons tenu, à travers ce projet, à chercher des solutions qui la plus vaste possible pour résoudre notre problème. Cependant, nous avons été guidés par le souci de respect du cahier des charges ainsi que les contraintes technologiques du système à concevoir.

Cette étude nous a permis de réaliser la conception (dessins d'ensemble et les dessins de définition) du moule, cette dernière est faite d'un choix d'une solution parmi tant d'autres et d'une manière à faciliter la réalisation du produit et ainsi diminuer son prix de revient. On nous a aussi offert la chance de nous familiariser avec des outils informatiques avancés (logiciels techniques SolidWorks...) et d'apprendre plusieurs informations sur les alliages d'aluminium et les procédés de mise en forme des matériaux.

L'élaboration de ce travail nous a permis, d'une part, d'approfondir les connaissances et le savoir-faire acquis durant les années de notre formation à l'UMMTO, et d'autre part, de préparer notre intégration à la vie professionnelle et de nous situer sur le marché de l'industrie.

Au terme de ce travail, nous estimons que la réalisation du moule d'emboutissage pour la plaque d'immatriculation automobile sera à la hauteur des objectifs fixés par SOFICLEF et d'un apport positif surtout du côté économique et contribuera à son évolution.

En conclusion, nous souhaitons que ce thème, malgré les contraintes temporelle et matérielles soit enrichit et approfondi à l'avenir.

Bibliographie :

[1] : www.SOFICLEF.com

[2] : www.Ecartegrise.fr

[3] : www.Autobip.com

[4] : Documents SOFICLEF.

[5] : www.euralliage.com

[6] : Michel Dequatremare, Thierry *Devers*, *Précis des matériaux*, Edition Dunod 2012.

[7] : www.sfam.com

[8] : B.WASSILIEFF, *Emboutissage, Règles principales, Calcul*, Edition Dunod, Paris 1970.

[9] : FELDER Eric, GUAY Pascal et RICHARD Caroline, *Travail des métaux, mise en forme et tribologie*, actualisation permanente sur www.technique-ingénieur.com.

[10] : Thèse doctorat bagher MOHAMMAD SADEGHI, Analyse et identification du comportement mécanique d'acier à effet TRIP à partir de mesures de champs cinématiques 2010.

[11] : KHERROUB Mouloud, HAMADI Mohammed, Etude et conception d'un outil à suivre pour la fabrication d'un panneau latéral autonettoyant d'une cuisinière E.N.I.E.M , Mémoire de master II en fabrication mécanique, UMMTO, 2014.

[12] : BELHOCINE Zohra, Etude et conception d'un outil de détourage et poinçonnage d'une pièce (autonettoyant) pour cuisinière E.N.I.E.M , Mémoire de master II en construction mécanique, UMMTO, 2015.

[13] : HADDADOU Younes, Etude et conception d'un outil à bande pour la réalisation d'une rondelle de fixation de la vitre intérieure du four de la cuisinière E.N.I.E.M , Mémoire de master II en construction mécanique, UMMTO, 2016.

[14] : Guide de du dessinateur industriel, CHEVALIER.

Annexes

Désignation du matière		ABS	
Groupe de matériaux	Acrylonitrile butadiène styrène		
Couleur(s) du matériau	ivoire		
Propriétés	Unité	Méthode d'essai	Valeur
Poids moléculaire (masse molaire moyenne)	g/mol		
Propriétés mécaniques			
Densité spécifique	g/cm ³	ASTM D792	1,04
Résistance à la traction (type 1, 0.125)	N/mm ²	ASTM D638	37
Module d'élasticité en traction (type 1, 0.125)	N/mm ²	ASTM D638	2320
Dureté Shore D, 15s - valeur	Skala D	DIN 53505	
Allongement (type 1, 0.125)	%	ASTM D638	3
Résistance à la flexion (méthode 1)	N/mm ²	ASTM D790	53
Module d'élasticité en flexion (méthode 1)	N/mm ²	ASTM D790	2250
Résilience IZOD (méthode A 23 °C)	J/m	ASTM D256	106
Abrasion	%	barbotine à base de sable	
Coefficient de frottement	μ		
Propriétés thermiques			
Résistance à la déformation à chaud, à 4,6 bars	°C	ASTM D648	96
Résistance à la déformation à chaud, à 18,2 bars	°C	ASTM D648	82
Température de ramollissement Vicat	°C	DIN 53460	
Température de fusion des cristallites	°C	DTA	
Conductibilité thermique à 23 °C	W/ (K * m)	DIN 52612	
Chaleur spécifique à 23 °C	kJ/ (K * Kg)		
Tenue à la flamme		UL 94	
Température d'utilisation (min.)	°C		
Température d'utilisation (continue)	°C		
Absorption d'humidité	%		
Propriétés électriques			
Résistance volumique spécifique	Ohms	ASTM D2575	3,0 ¹⁴ - 6,0 ¹³
Constante diélectrique		ASTM D150-98	2,9 - 2,6
facteur de dissipation diélectrique		ASTM D150-98	0,0053 - 0,0046
Rigidité diélectrique	V/mm	ASTM 149-09, Methode A	320 - 100
Les indications ci-dessus sont des valeurs types, servant de référence et de comparaison. Elles ne doivent pas être utilisées pour la conception ou pour le contrôle qualité. Les prestations maximales du matériau dépendent de la conception de la pièce, des conditions de montage, etc. Les valeurs réelles peuvent donc varier en fonction des conditions.			

100 C6

AFNOR	AISI	NF A 35-590
100 C6	52100	100 Cr 6

Composition chimique en %

C	Cr	S	Mn	P	Si
0,95-1,05	1,35-1,60	≤ 0,015	0,25-0,45	≤ 0,025	0,15-0,35

Propriétés

Acier à outils allié pour le travail à froid résistant à l'usure et à la fatigue, assez sensible aux chocs. Bonne ténacité et faible déformation après trempe (dans la masse ou superficielle par induction). Acier pour roulements trempant à l'huile. Dureté superficielle après trempe et revenu = 62-63 HRC assurant une bonne résistance à l'usure.

Domaines d'application

Très utilisé en mécanique d'outillage : goupilles, poinçons, roulements, colonnes de guidage, limes, forêts, alésoirs

Caractéristiques mécaniques moyennes (état normalisé adouci)

Rm N/mm ²	Re N/mm ²	A %	Dureté HB
700 / 800			217

Soudage

Soudabilité déconseillée

Livraison

Ronds rectifiés h7 (genre « stub »)
Ronds étirés ou laminés,
Tubes

A 60

AFNOR	DIN	AISI	NF EN 1027-1
A 60-2	ST 60-2		E335 (1.0060)

Composition chimique en %

C	S	Mn	P	Si
Non communiqués	0,045 maxi	Non communiqués	0,045 maxi	Non communiqués

Propriétés

Acier à usage courant en mécanique générale. Non traité, il offre une bonne résistance mécanique (Rm).

Acier de construction non allié d'usage général, non effervescent. L'analyse chimique n'est pas définie par la norme et ne garantit pas d'éventuels traitements thermiques.

Domaines d'application

Pièces soumises à de fortes pressions de surface, vis sans fin, pignons, clavettes, axes, bagues.....

Caractéristiques mécaniques moyennes (état normalisé)

Rm N/mm ²	Re N/mm ²	A %	Dureté HB
590 / 770	305 / 335	6 / 16	

Soudage

Soudabilité médiocre, non garantie, précautions à prendre

Livraison

Etirés ronds ou tournés galetés tolérances H10

Carrés

Hexagones

Plats étirés

profilés

ÉTAT D'APPROVISIONNEMENT

Recuit.

DESCRIPTION ET APPLICATIONS LES PLUS COURANTES

Acier résistant à la fatigue par efforts de torsion et flexion.

Il est nécessaire de le tourner avant la trempe afin d'éviter les fissures et obtenir la dureté idéale.

Ses applications les plus courantes sont pour les ressorts, clés fixes, burins, couteaux demi-lune, cisailles, pinces pour couper le fil de fer, barres de torsion, feuilards et clés à 2 têtes.

DIMENSIONS EN STOCK - MM.



21-302

NORME D'APPLICATION

EN 10083-3

COMPOSITION CHIMIQUE

	C	Mn	Si	P	S	Cr	V
MIN	0,47	0,70				0,90	0,10
MAX	0,55	1,10	0,40	0,025	0,025	1,20	0,25

TRAITEMENTS THERMIQUES - TEMPÉRATURES APPROXIMATIVES

Recuit °C	Recuit °C	Revenu °C
670-710	820 - 870 Auile	540-680

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

Propriétés mécaniques à température ambiante à l'état de recuit.

Dureté maximale: 248 HB.

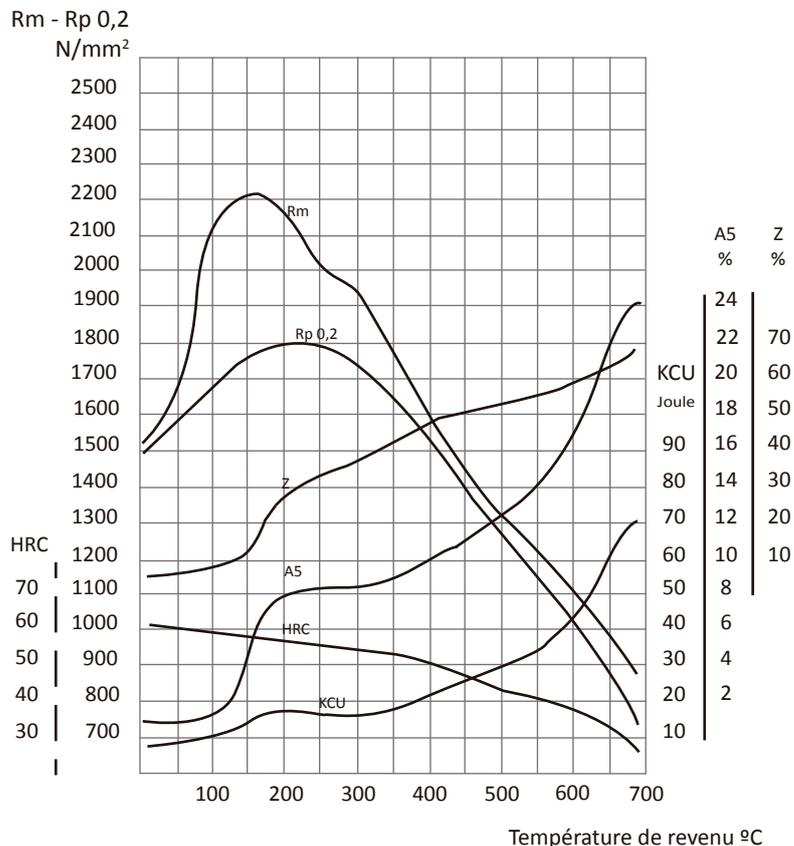
ÉQUIVALENCES APPROXIMATIVES

EN	DIN	Nº STAND	UNE	STAS	AFNOR	BS	UNI	AISI/SAE	GOST
51CrV4	51CrV4	1.8159	F1430		50CV4	735A50	50CrV4	6150	50XГΦ

CODE DE COULEUR



DIAGRAMME DE REVENU



C 45 (XC 48)

AFNOR	DIN	AISI	NF EN 10027-1
XC 48	Ck 45		C 45 (1.1191)

Composition chimique en %

C	S	Mn	P	Si
0,52 - 0,50	≤ 0,035	0,50 - 0,80	≤ 0,035	0,40 maxi

Propriétés

Acier carbone à teneur plus élevée que pour les aciers C35 et C40, utilisée en mécanique générale de part sa bonne usinabilité et ses caractéristiques mécaniques.

Apte aux traitements thermiques : ex. à l'huile 820 - 860°C

Domaines d'application

Pièces soumises aux chocs et nécessitant une bonne résistance : axes, engrenages, vis sans fin, paliers, pignons, boulonnerie, forge (leviers, arbres)

Caractéristiques mécaniques moyennes (état normalisé)

Rm N/mm ²	Re N/mm ²	A %	Dureté HB
560 / 620	275 / 340	14 / 16	

Soudage

Soudabilité médiocre (précautions nécessaires, préchauffage et revenu de stabilisation recommandés).

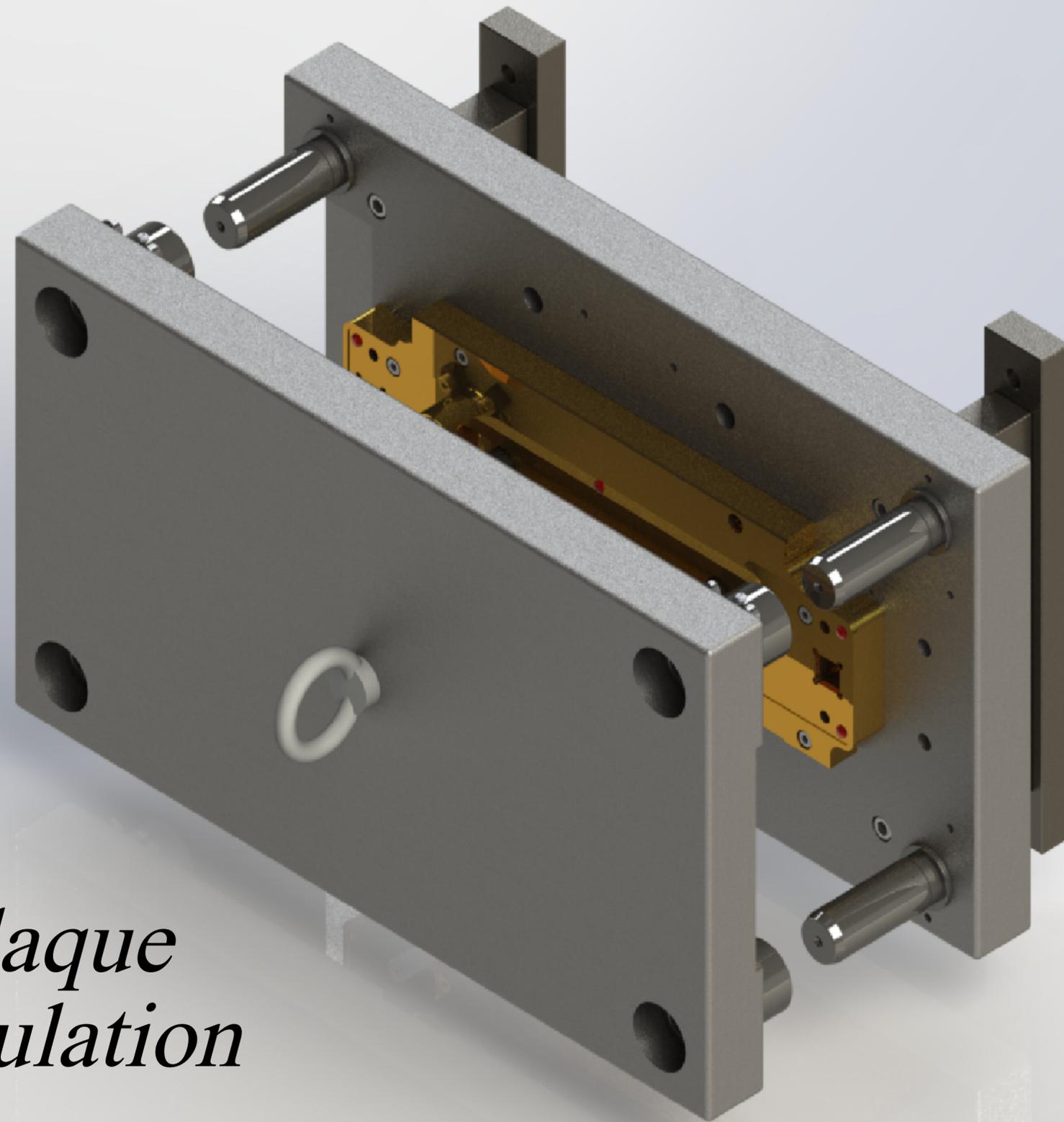
Livraison

Ronds étirés ou tournés galetés, tolérance h10

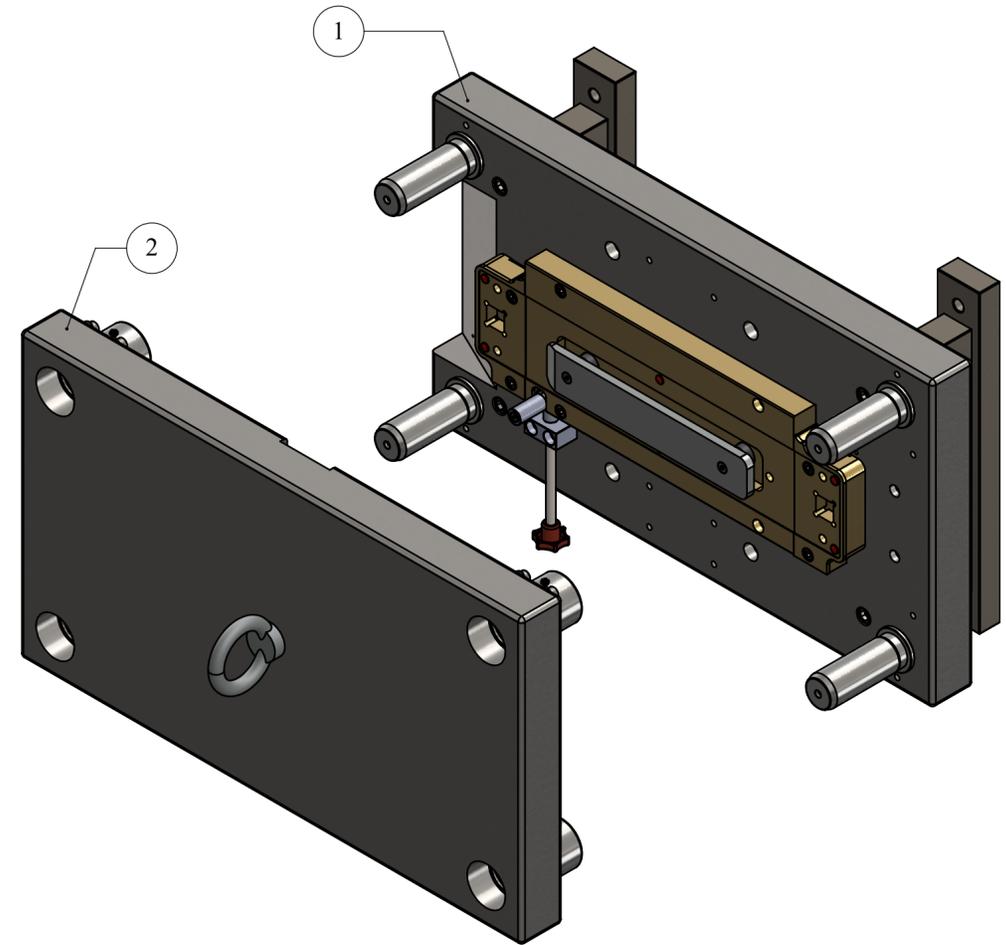
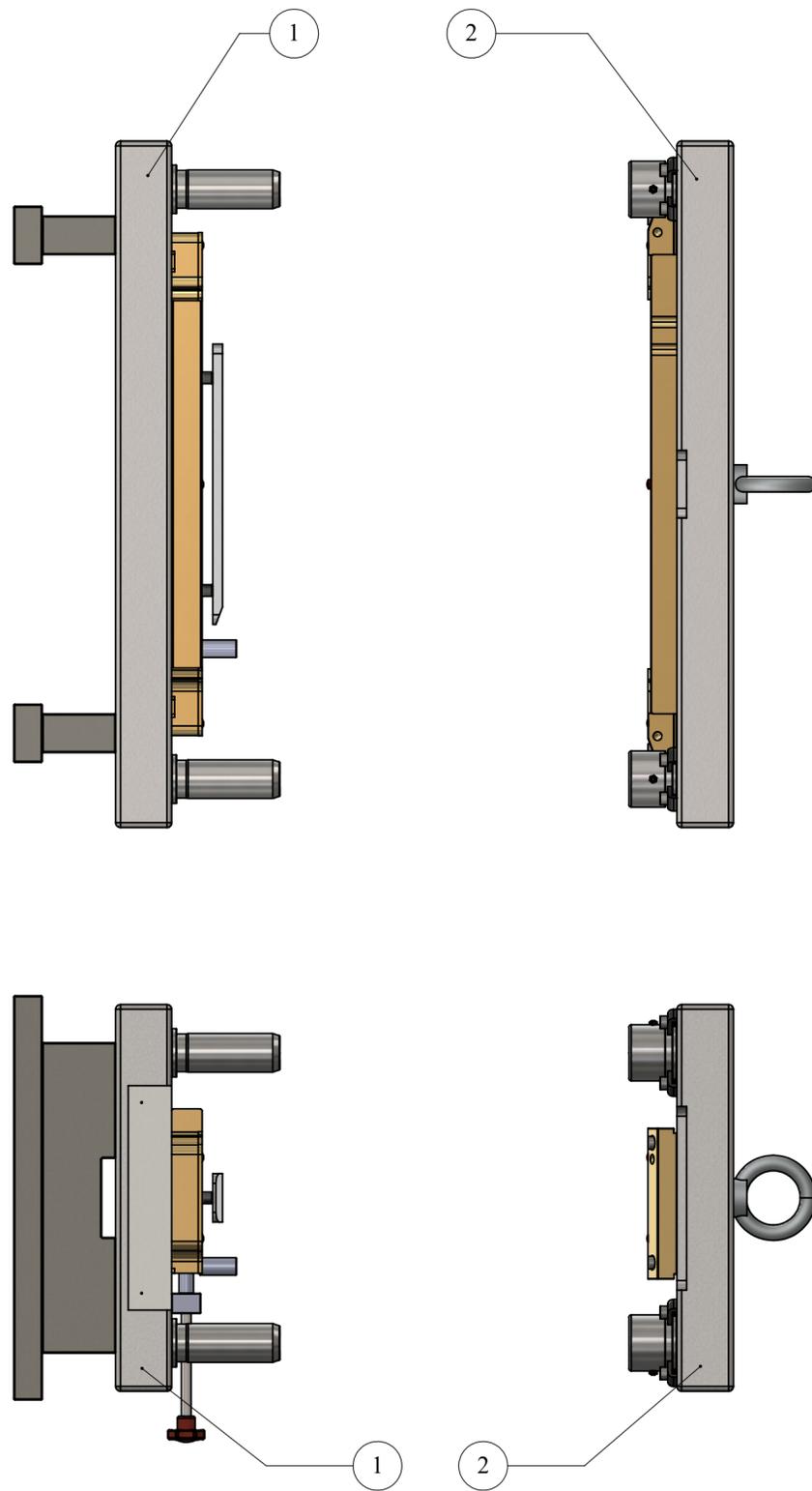
barreaux à clavettes (carrés, plats)

Ronds laminés

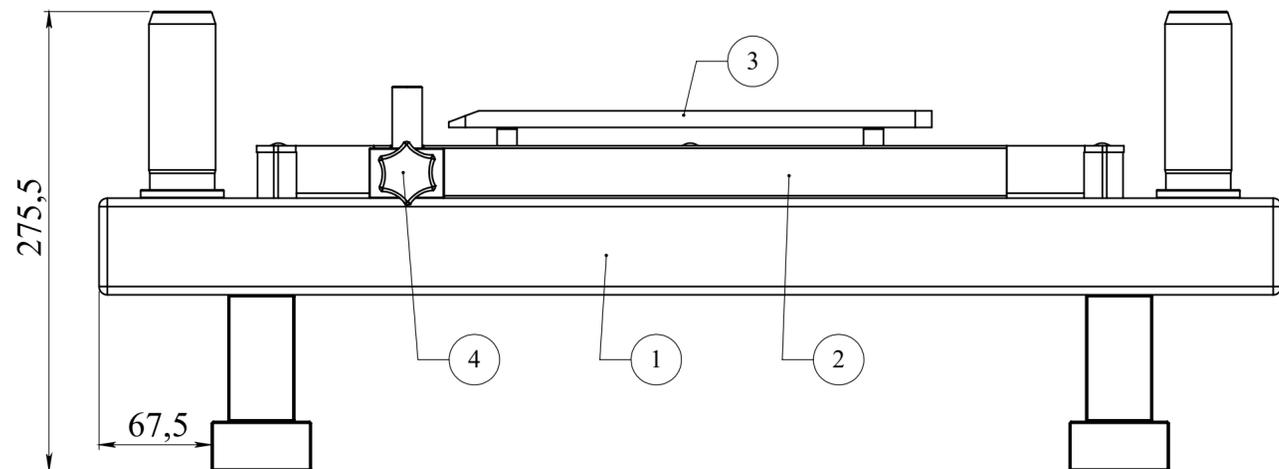
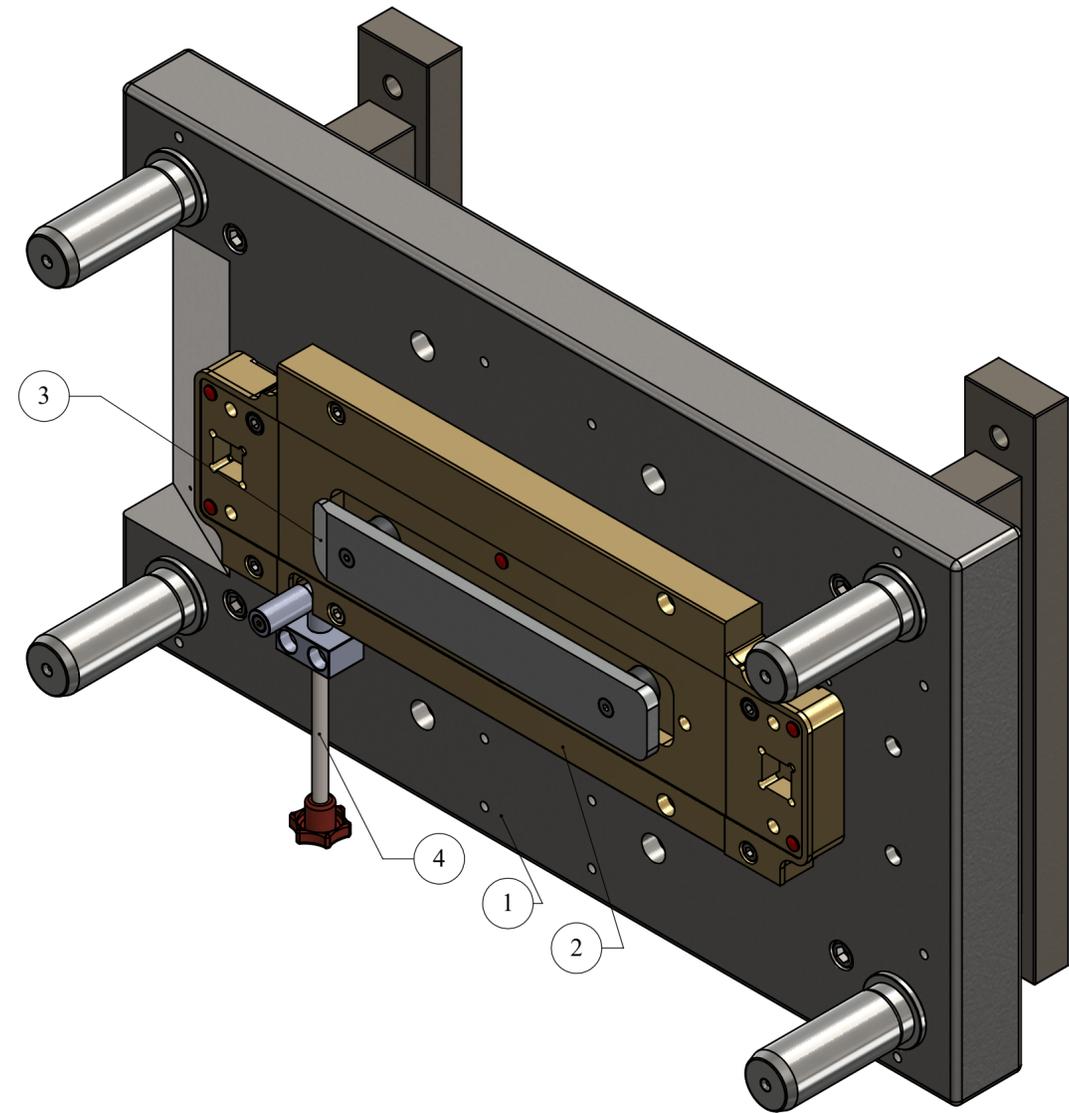
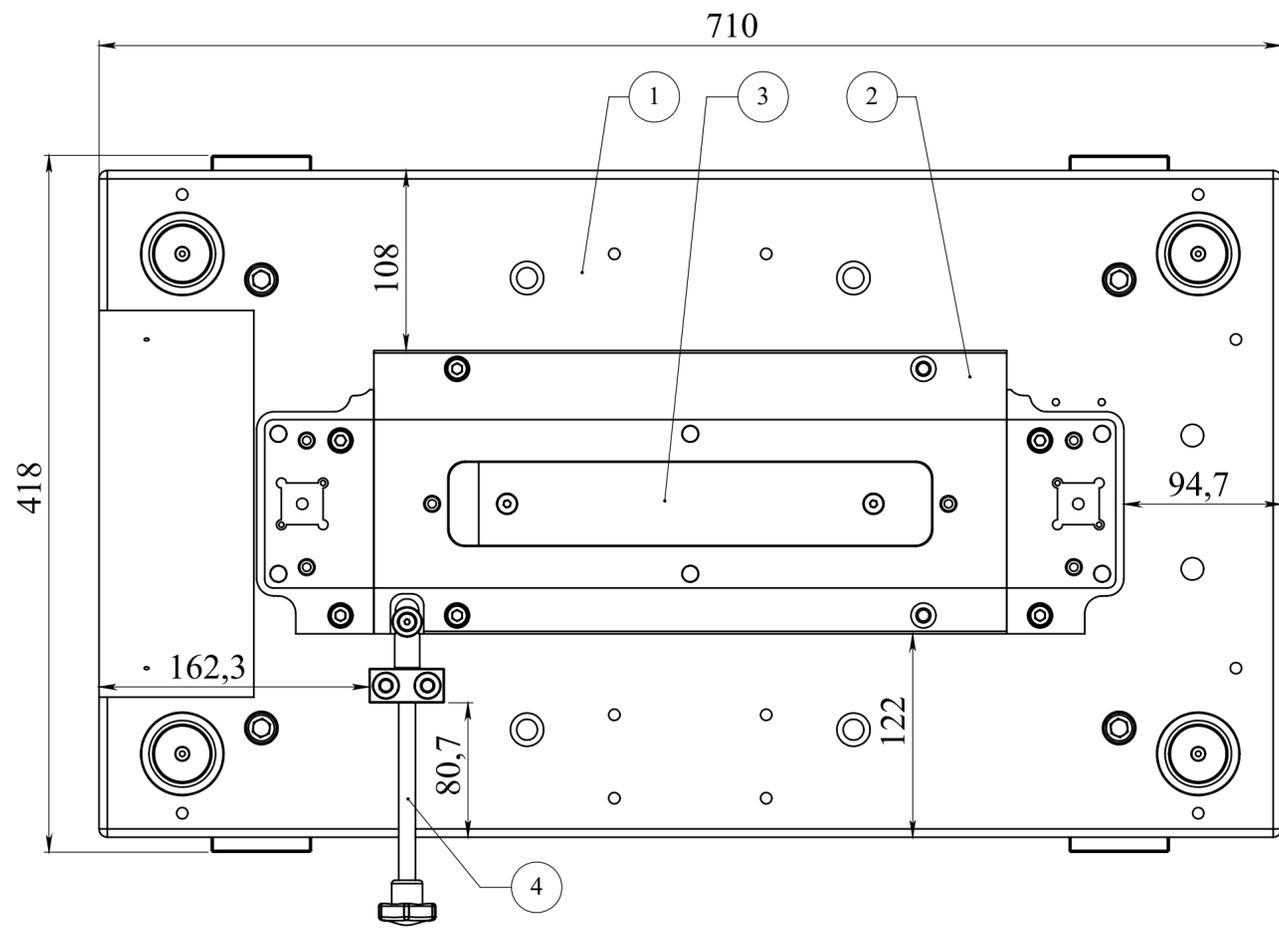
Etirés : carrés, plats, hexagones

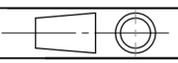


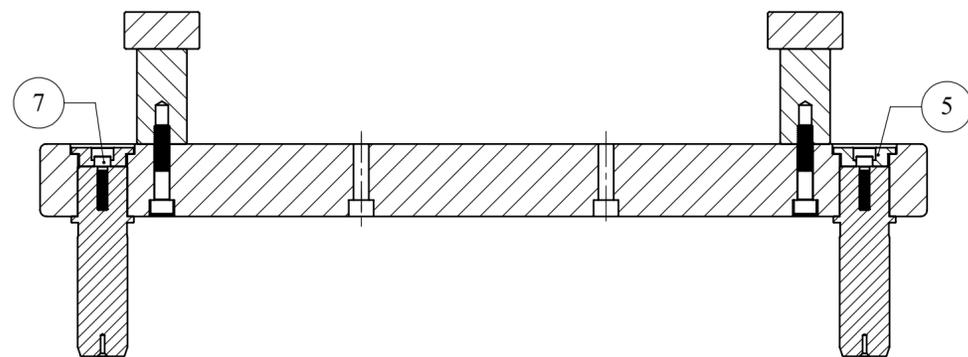
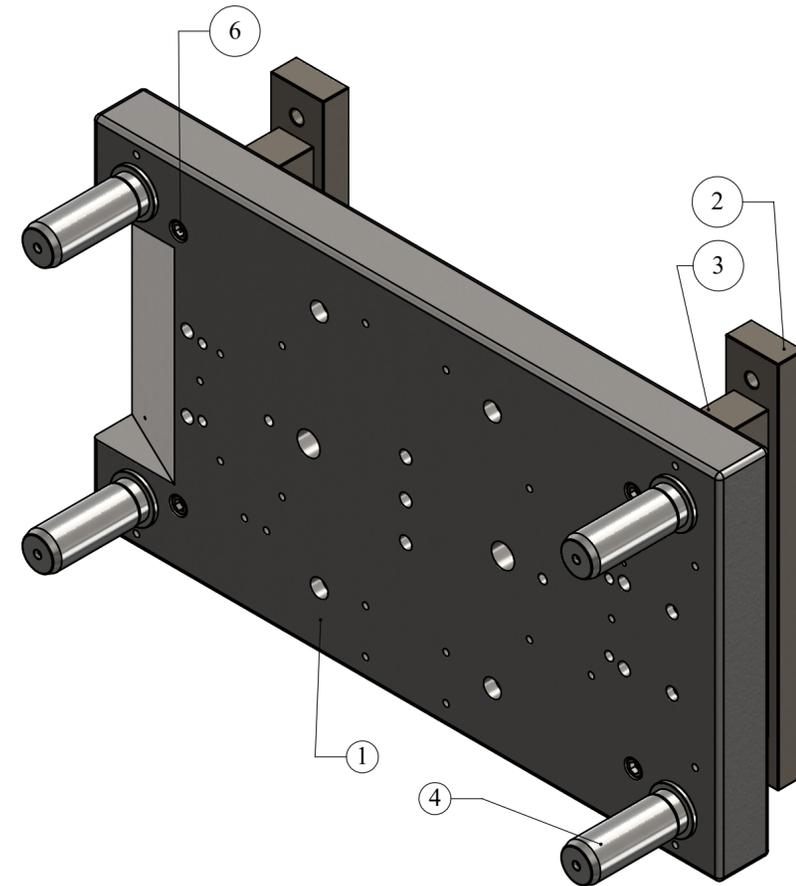
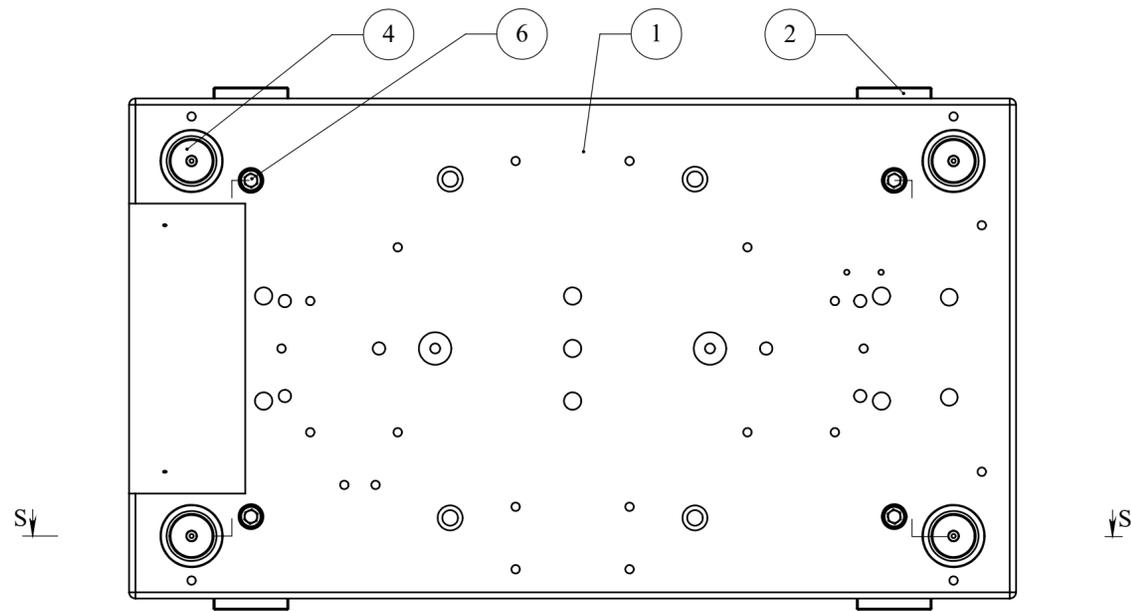
*Moule Plaque
d'immatriculation*



2	1	Partie mobile	/	/
1	1	Partie fixe	/	/
REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110		REALISE PAR: RAMOUL Lyes
		ECHELLE: 1:2		06/08/2017
		A3	FGC DGM UMMTO	MASTER II



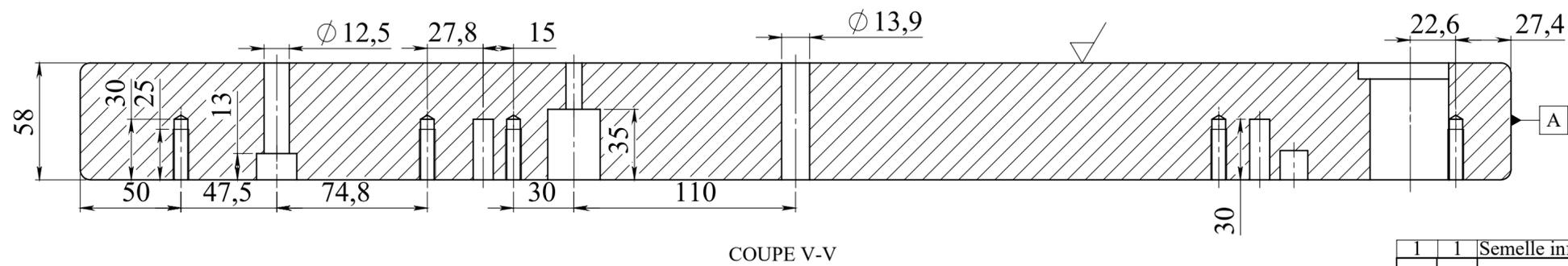
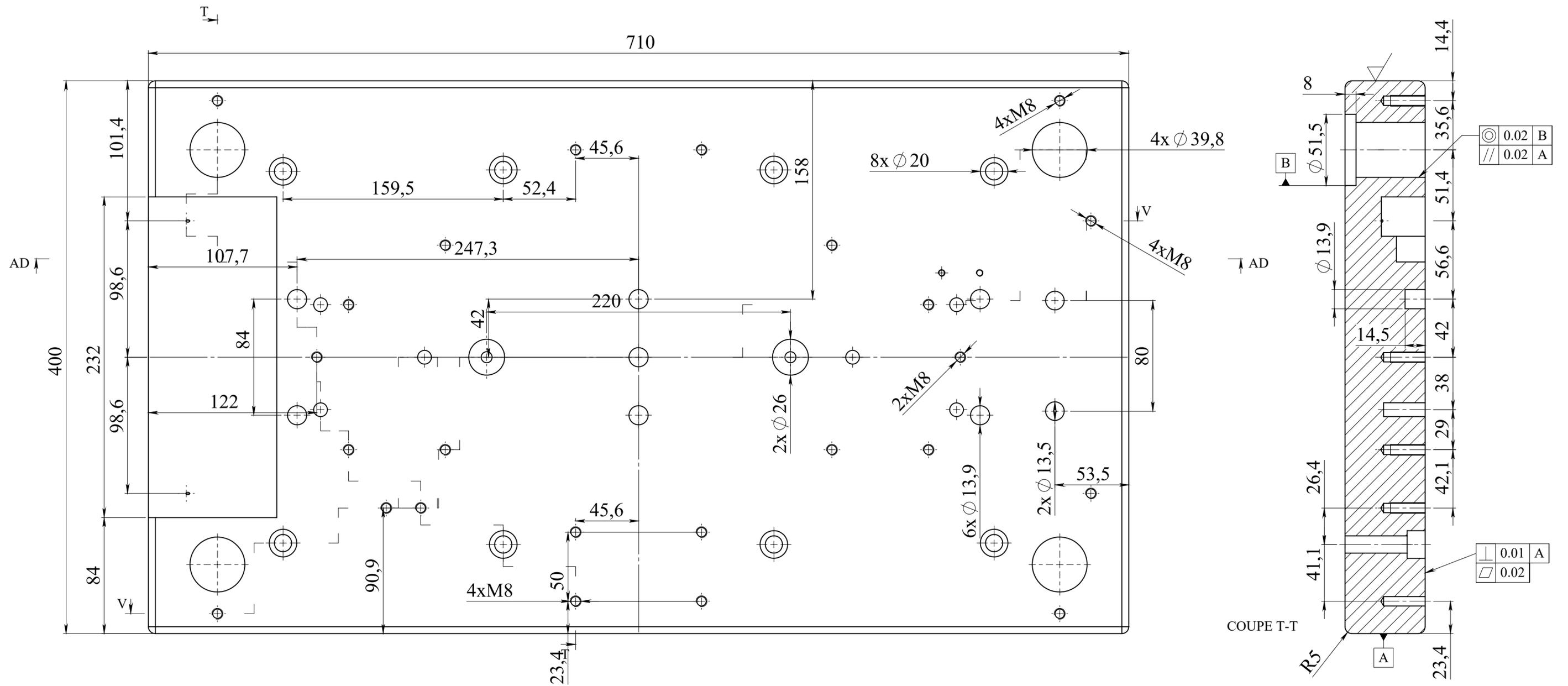
4	1	S/ENS Sërre plaque	/	/
3	1	S/ENS Plaque éjectrice	/	/
2	1	S/ENS Matrice	/	/
1	1	S/ENS Porte matrice	/	/
REP/NBR	DESIGNATION		MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE: 1:2		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110		REALISE PAR: RAMOUL Lyes
		Partie fixe	06/08/2017	
A3		FGC DGM UMMTO	MASTER II	



COUPE S-S

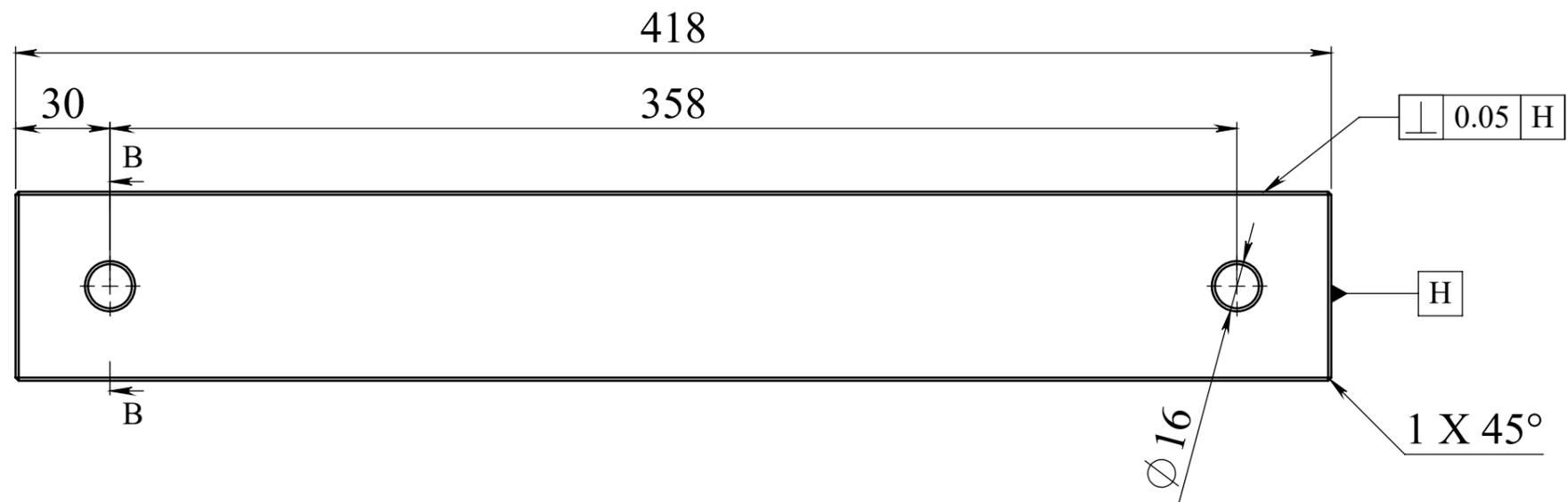
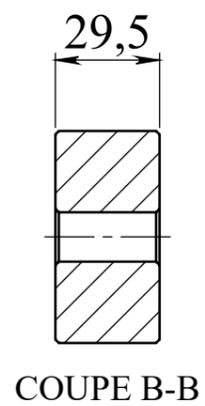
Nota : les pièces REP ② et ③ sont assemblées par soudage.

7	4	Vis CHC M8x35	XC 65	
6	4	Vis CHC M12x60	XC 65	
5	4	Bague de centrage	XC 48	Trempé
4	4	Colonne de guidage	XC 48	Trempé
3	2	Plat 60x40	A60	/
2	2	Plat 60x30	A60	/
1	1	Semelle inférieur	A60	/
REP/NBR	DESIGNATION		MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE: 1:2		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110		REALISE PAR: RAMOUL Lyes
A3		S/ENS Porte matrice		06/08/2017
A3		FGC DGM UMMTO		MASTER II



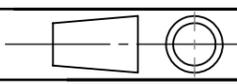
Nota : $Ra = \sqrt{1.6}$
 $IT = \pm 0.02$ sauf indication

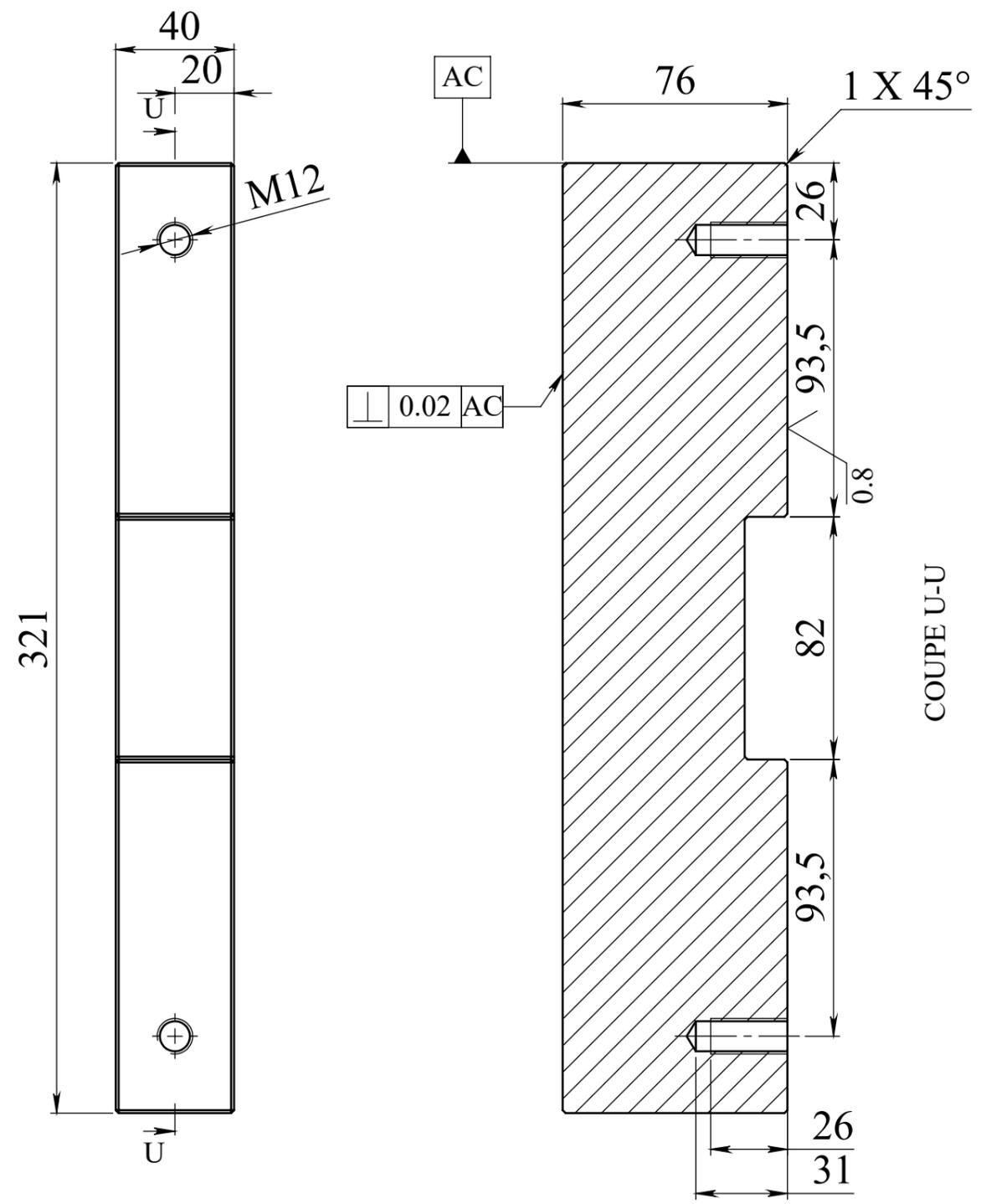
1	1	Semelle inférieure	A60	
REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110		REALISE PAR: RAMOUL Lyes
		S/ENS Porte matrice		06/08/2017
		FGC DGM UMMTO		MASTER II



Nota: Ra = $\sqrt{1.6}$

IT = ± 0.02 sauf indication

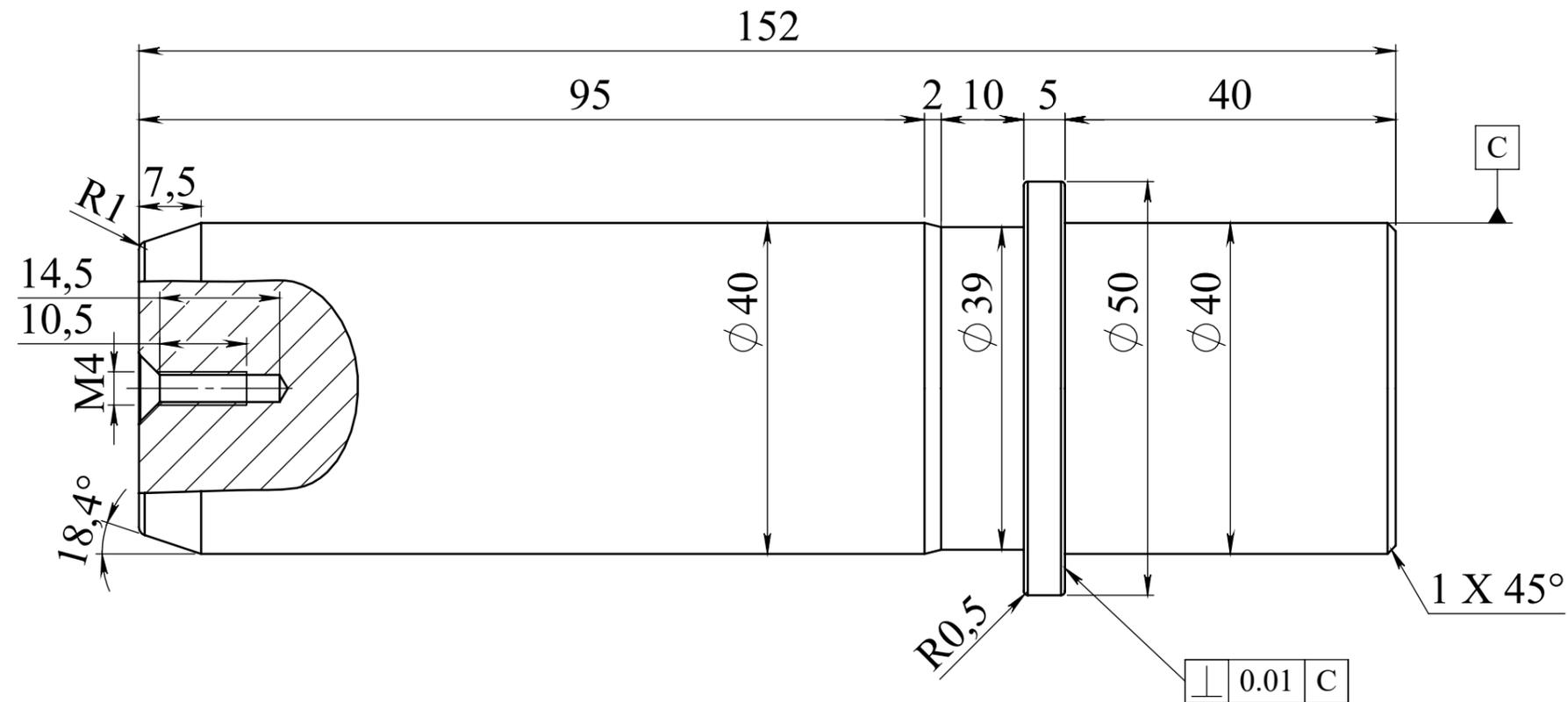
1	2	Plat 60x30	A60	/
REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE: 1:2		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110	REALISE PAR: RAMOUL Lyes	
			S/ENS Porte matrice	06/08/2017
A3		FGC DGM UMMTO	MASTER II	



Nota : Ra= $\sqrt{1.6}$

IT= ± 0.02 sauf indication

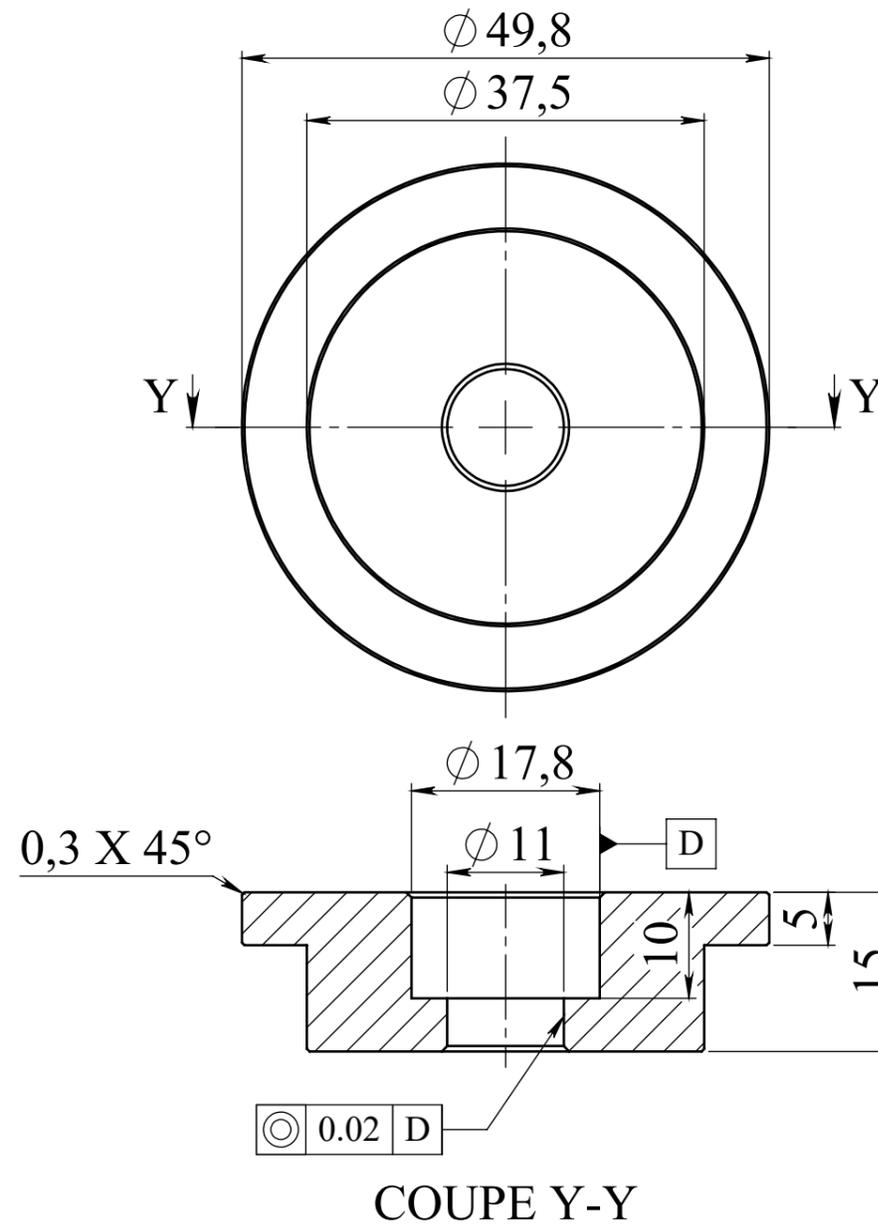
1	2	Plat 60x40	A60	/
REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE: 1:2		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110		REALISE PAR: RAMOUL Lyes
		S/ENS Porte matrice		06/08/2017
A3		FGC DGM UMMTO		MASTER II



Nota: Ra= $\sqrt{0.8}$

IT= ± 0.02 sauf indication

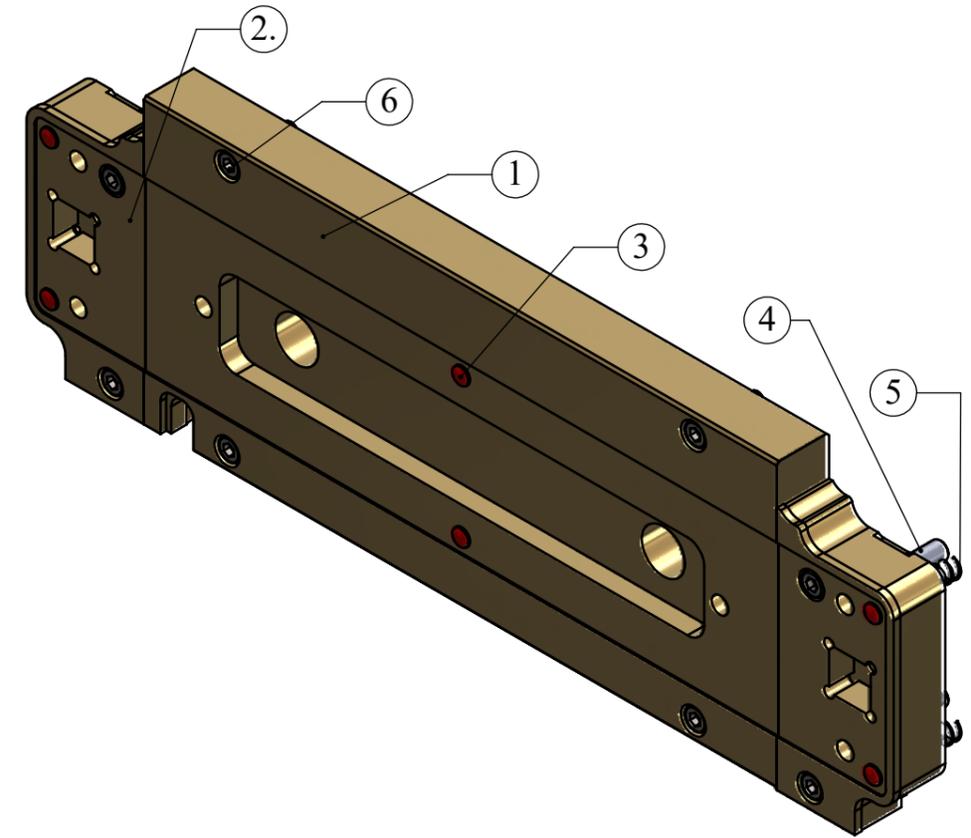
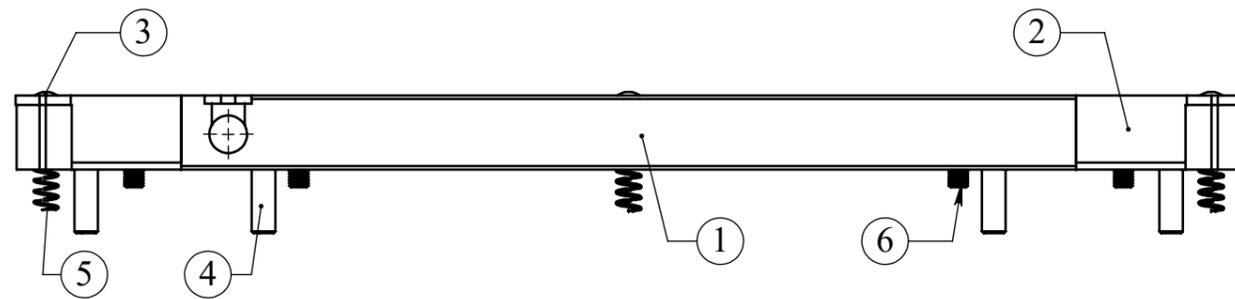
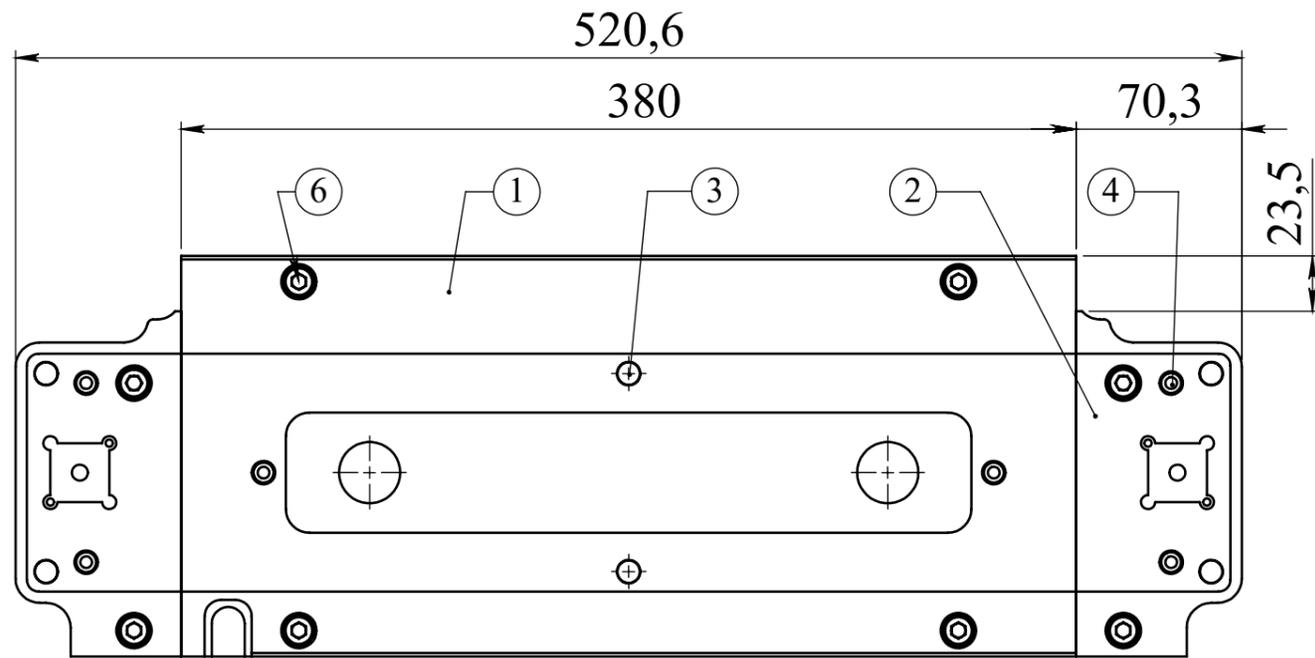
REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
1	4	Colonne de guidage	XC 48	Trempé
ECHELLE: 1:2		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110	REALISE PAR: RAMOUL Lyes	
A3			06/08/2017	
S/ENS Porte matrice		FGC DGM UMMTO		MASTER II



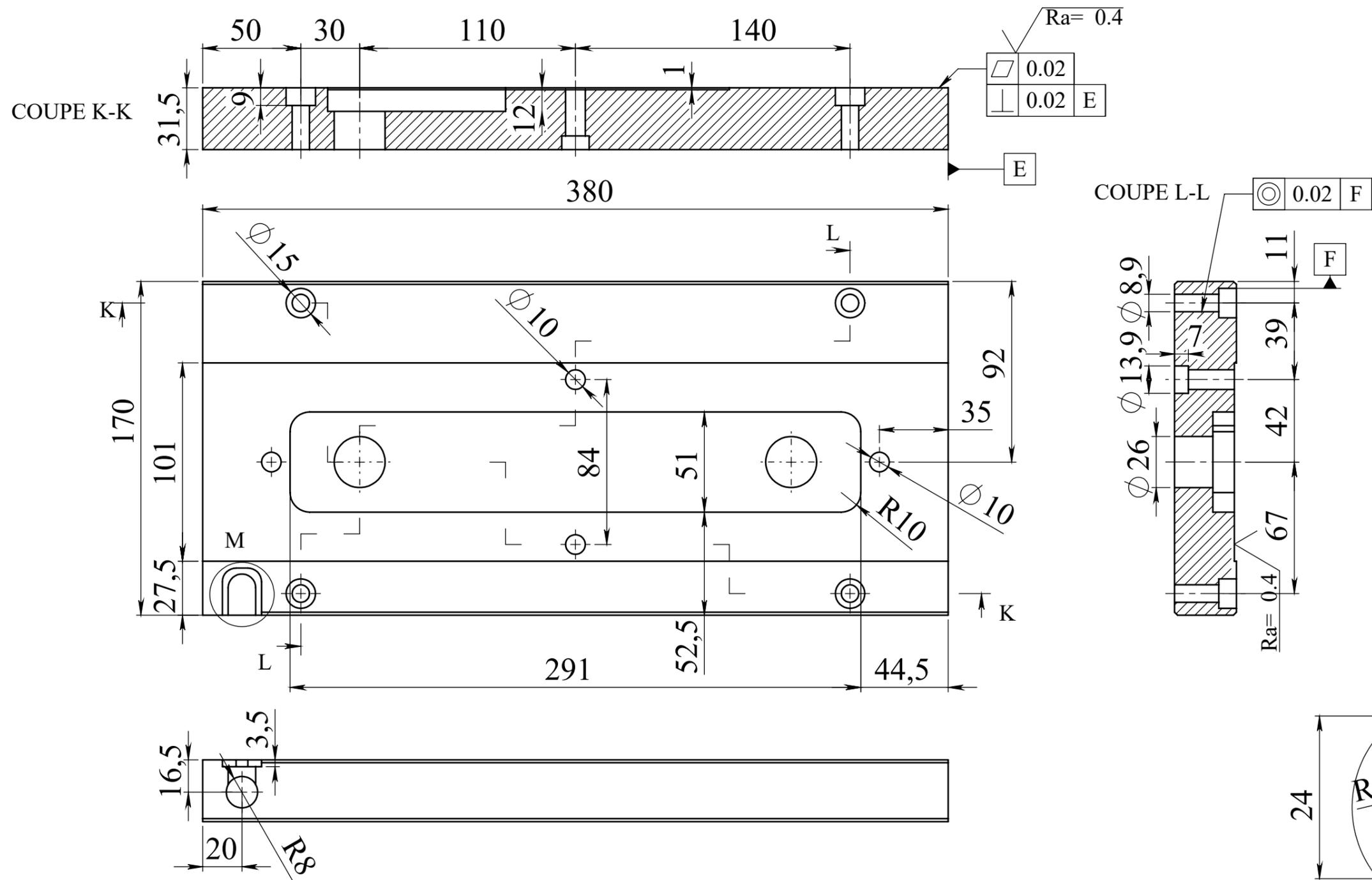
Nota: Ra= $\sqrt{1.6}$

IT= ± 0.02 sauf indication

REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
I	4	Bague de centrage	XC 48	Trempé
ECHELLE: 1:2		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110	REALISE PAR: RAMOUL Lyes	
A3			S/ENS Porte matrice	06/08/2017
		FGC DGM UMMTO	MASTER II	



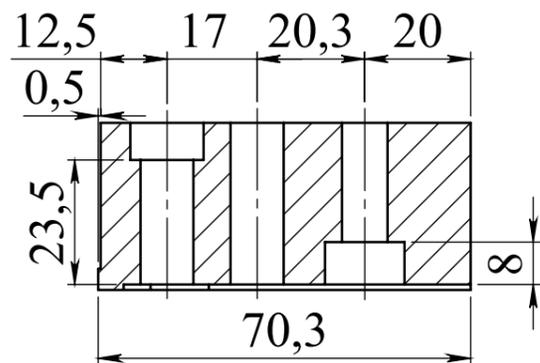
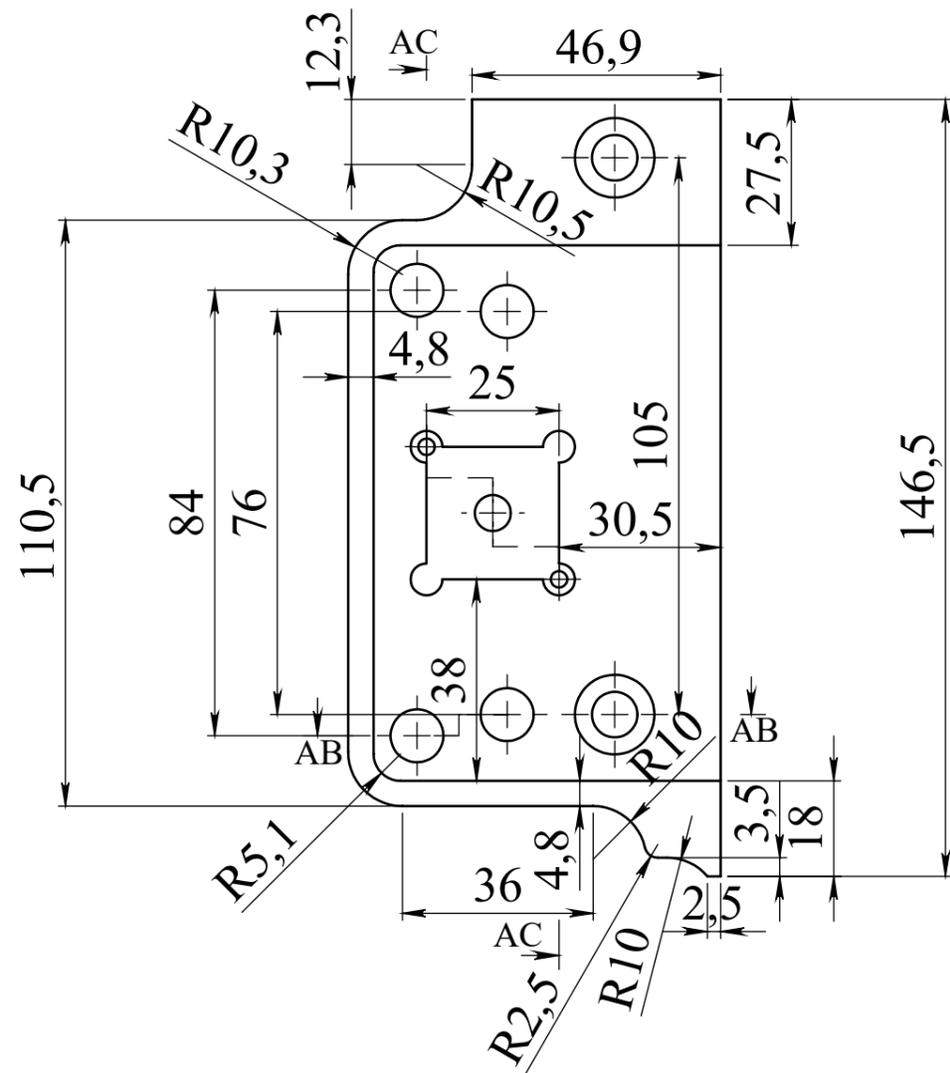
6	8	Vis CHC M8x30	XC 65	/
5	6	Ressort $\phi_{\text{ext}} 10$	50Cr V4	/
4	6	Goupille $\phi 10 \times 45$	100 Cr6	/
3	4	Ejecteur	ABS	/
2	2	Poinçon de forme	Z200 C12	Trempé
1	1	Matrice	Z200 C12	Trempé
REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
EHELLE: 1:2		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110		REALISE PAR: RAMOUL Lyes
		S/ENS Matrice		06/08/2017
A3		FGC DGM UMMTO		MASTER II



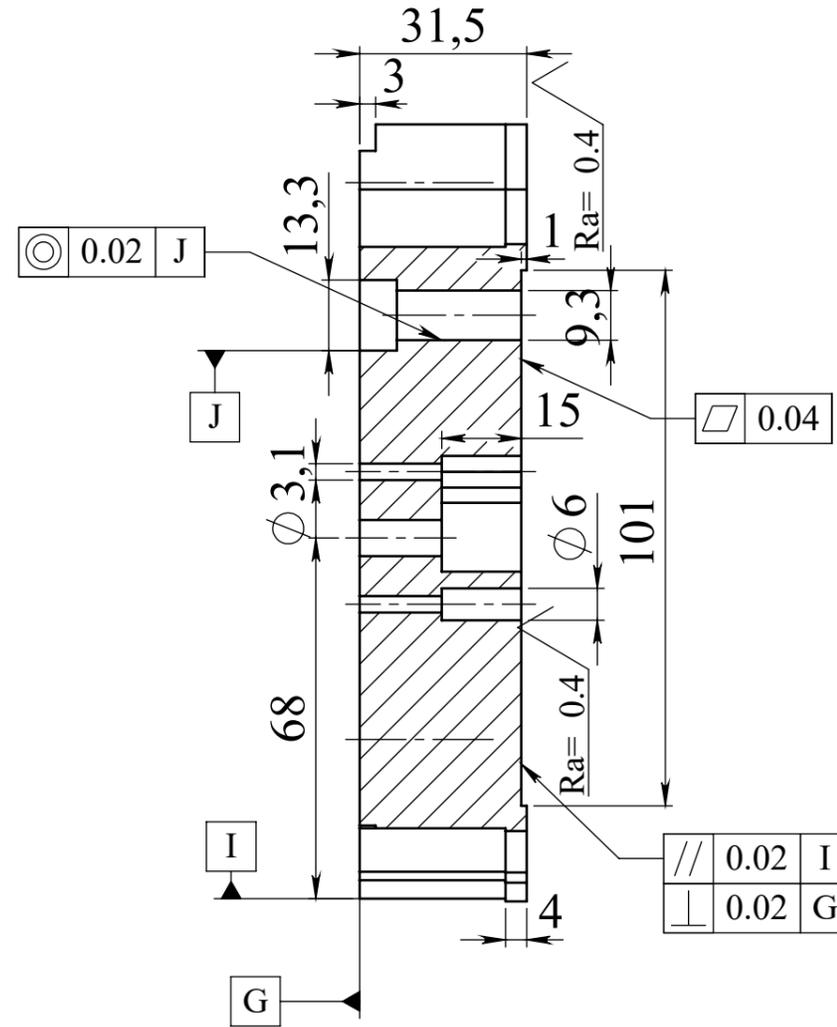
Nota : $Ra = \sqrt{0.8}$
sauf indication

IT = ± 0.02 sauf indication

REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
1	1	Matrice	Z200 C12	Trempé
ECHELLE: 1:2		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110	REALISE PAR: RAMOUL Lyes	
A3			S/ENS Matrice	06/08/2017
		FGC DGM UMMTO	MASTER II	



COUPE AB-AB

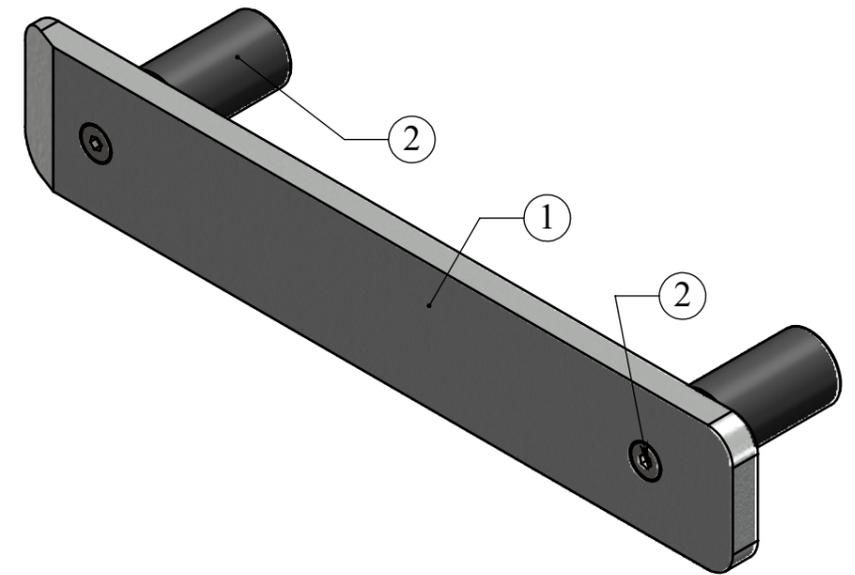
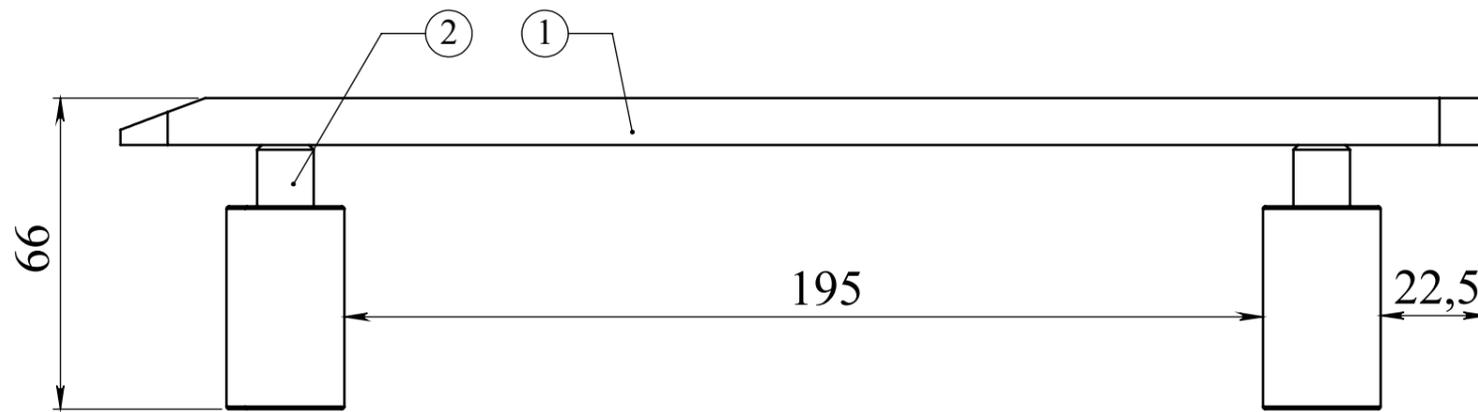
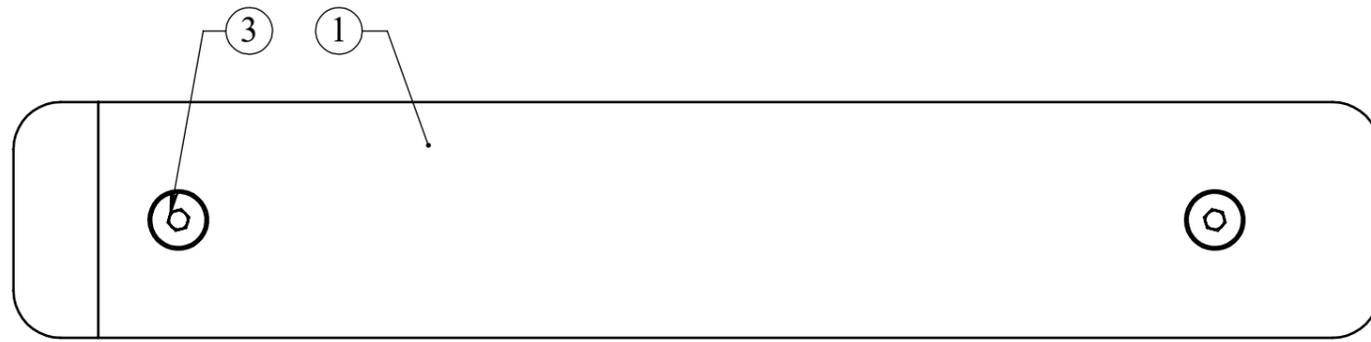


COUPE AC-AC

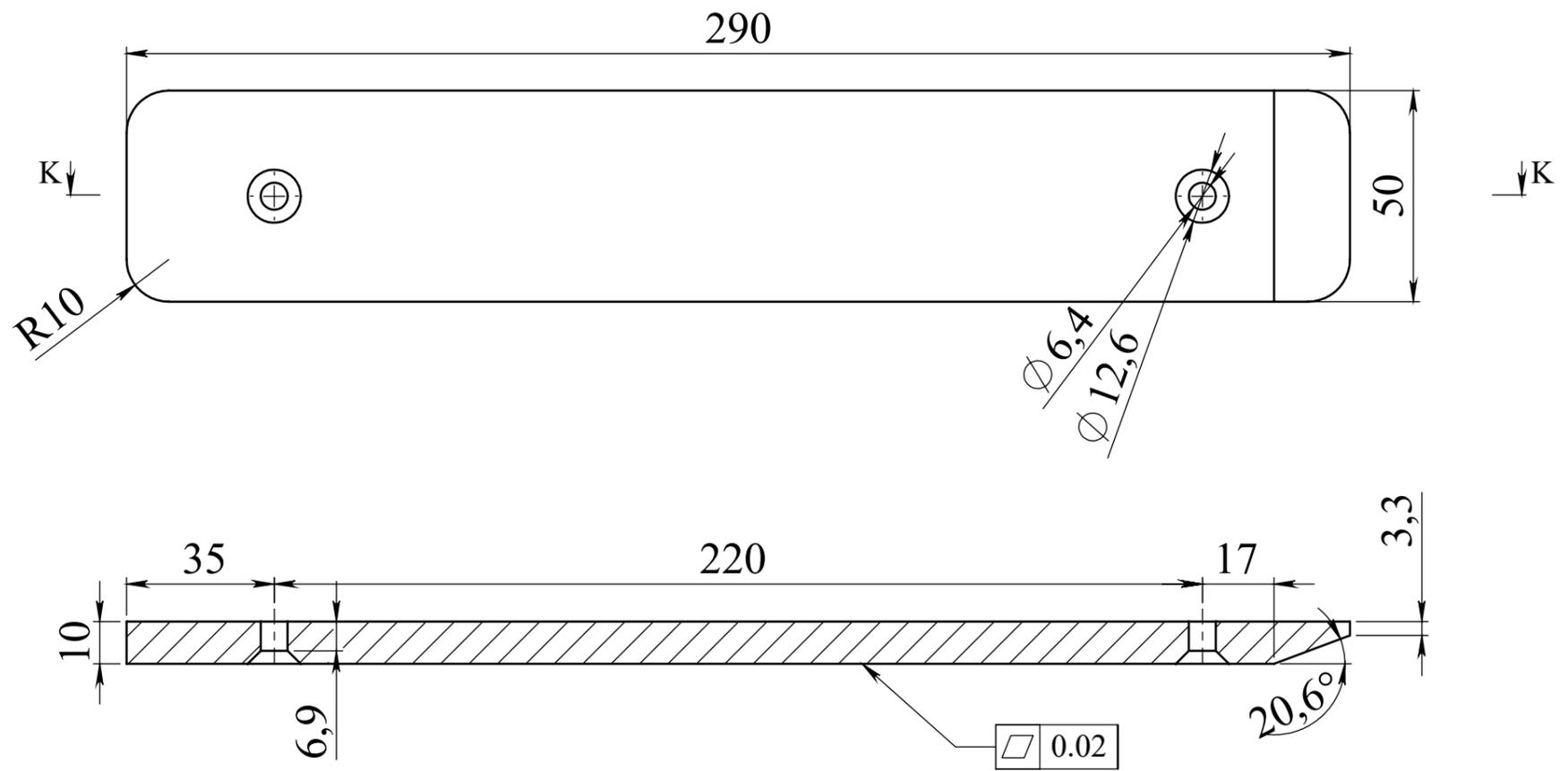
Nota: $Ra = \sqrt{0.8}$
sauf indication

IT= ± 0.02 sauf indication

REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
1	2	Poinçon de forme 1	Z200 C12	Trempé
ECHELLE: 1:2		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110	REALISE PAR: RAMOUL Lyes	
A3			S/ENS Matrice	06/08/2017
		FGC DGM UMMTO	MASTER II	



3	2	Vis FHC M5x16	XC 65	/
2	2	Vérin		fiche technique
1	1	Plat 50x10	POM	/
REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE: 1:2		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110		REALISE PAR: RAMOUL Lyes
		S/ENS plaque éjectrice		06/08/2017
A3		FGC DGM UMMTO		MASTER II

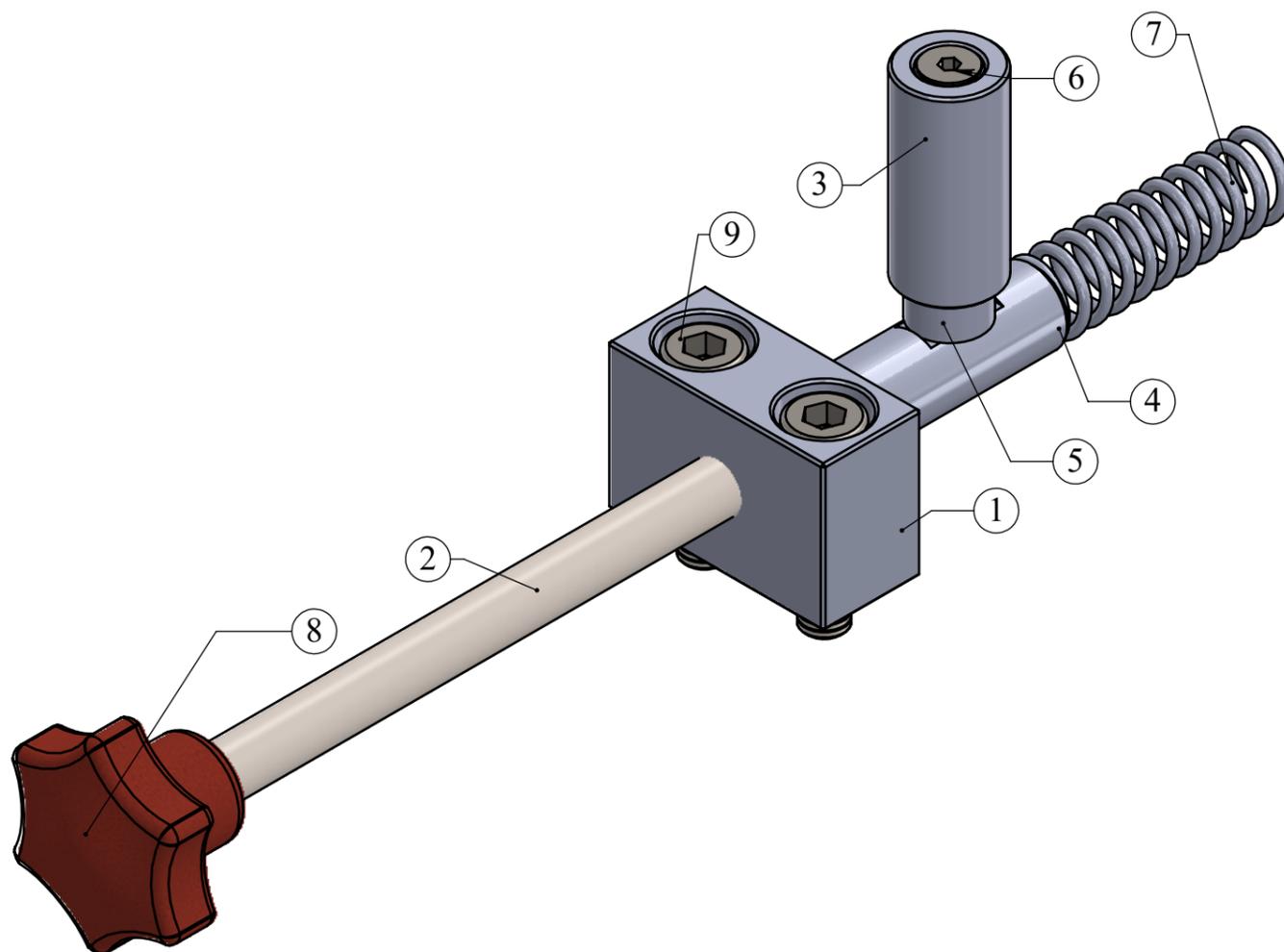
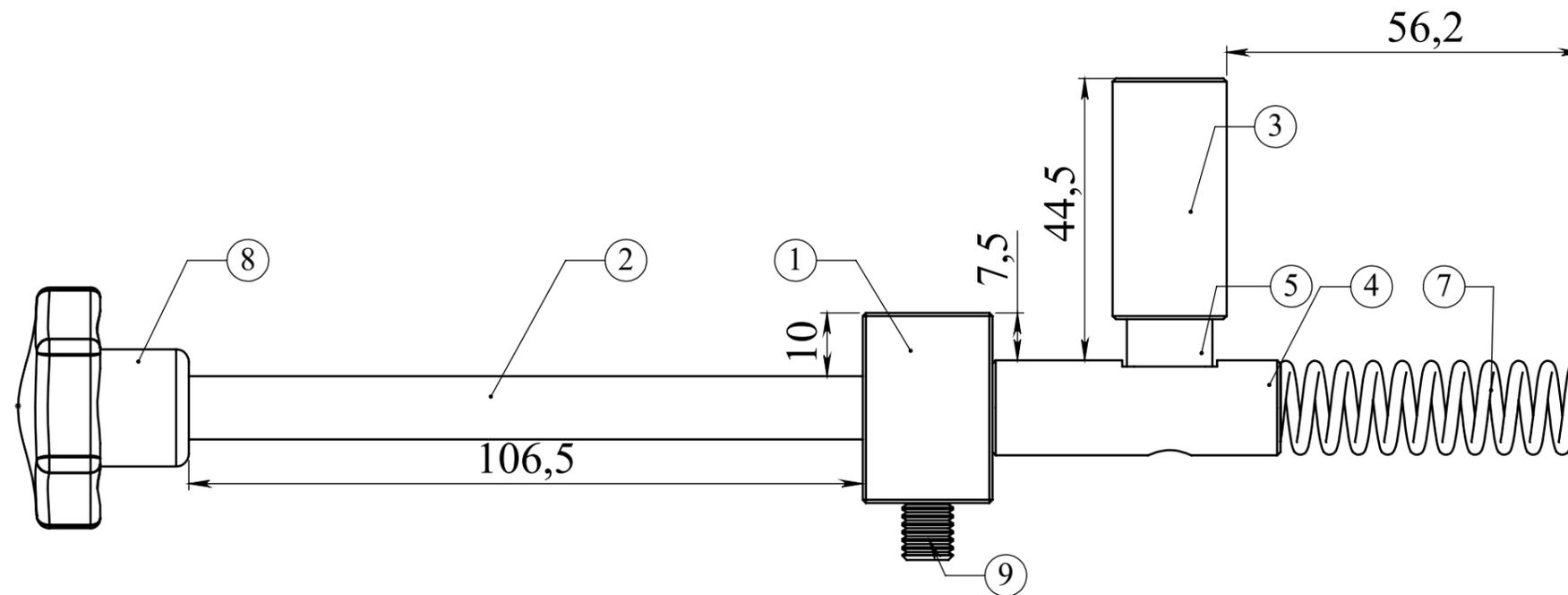


COUPE K-K

Nota: Ra=√ 1.6

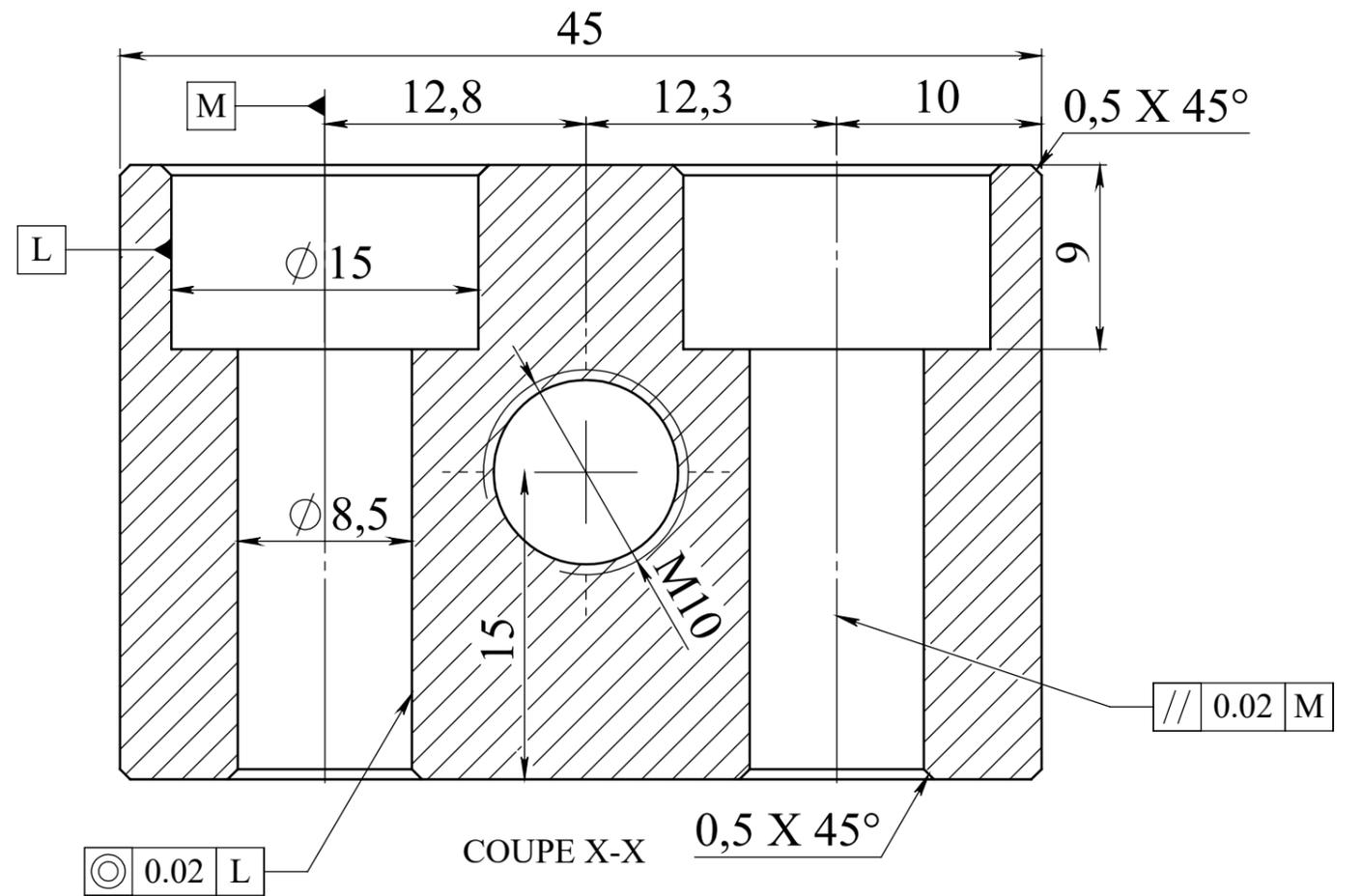
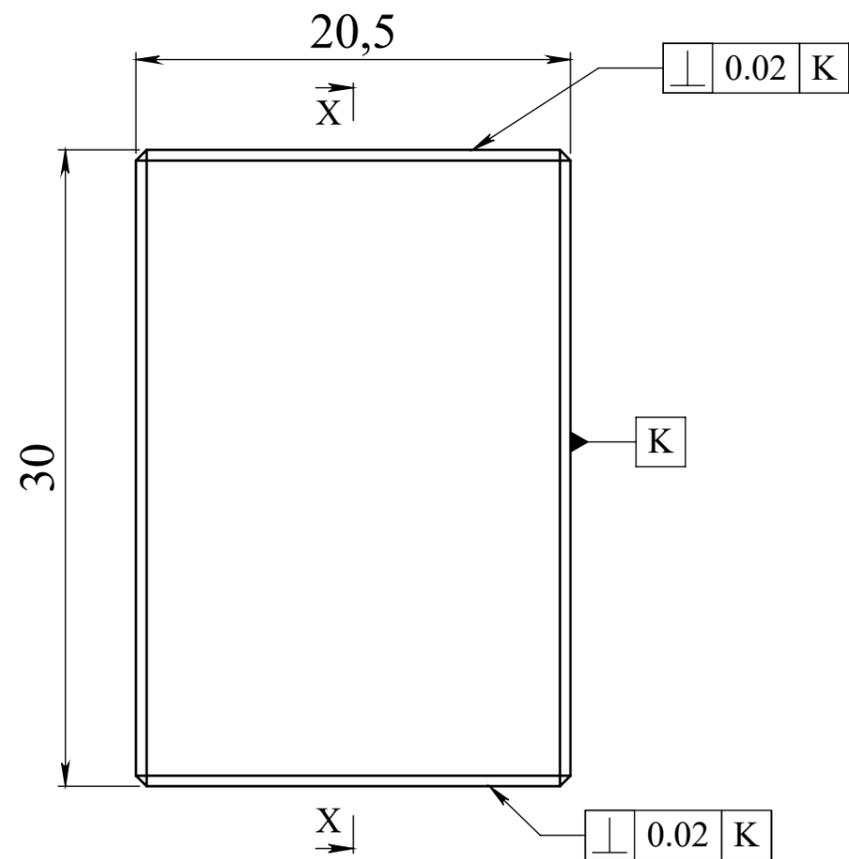
IT= ±0.02 sauf indication

1	1	Plat 50x10		/
REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE: 1:2		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110		REALISE PAR: RAMOUL Lyes
		S/ENS plaque éjectrice		06/08/2017
A3		FGC DGM UMMTO		MASTER II



9		Vis CHC M8x30	XC 65	/
8		Vis FS M5x16	XC 65	/
7		Ressort	50Cr V4	/
6		Tete polygone	/	/
5		Axe \varnothing 13.5 x 52	A60	/
4		Axe \varnothing 15 x 45	A60	/
3	1	Axe \varnothing 18 x 38	A60	/
2	1	Tige filletée M10x140	A60	/
1	1	Plat 30x20	A60	/

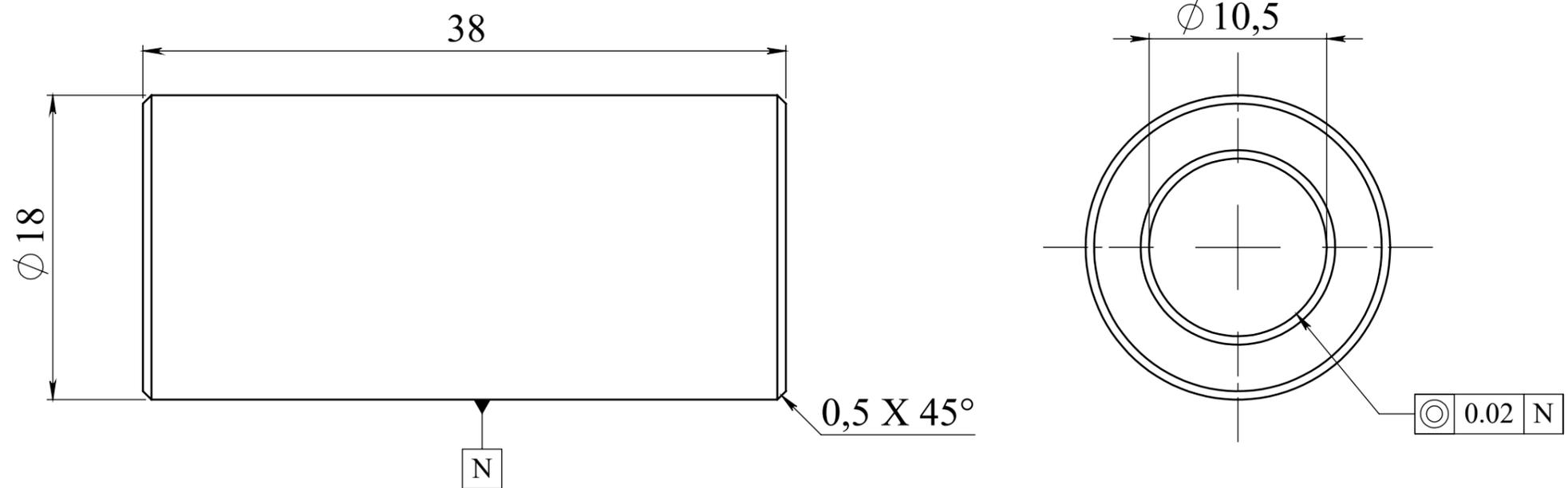
REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110		REALISE PAR: RAMOUL Lyes
		S/ENS guide plaque		06/08/2017
		A3		MASTER II



Nota: Ra= $\sqrt{1.6}$

IT= ± 0.02 sauf indication

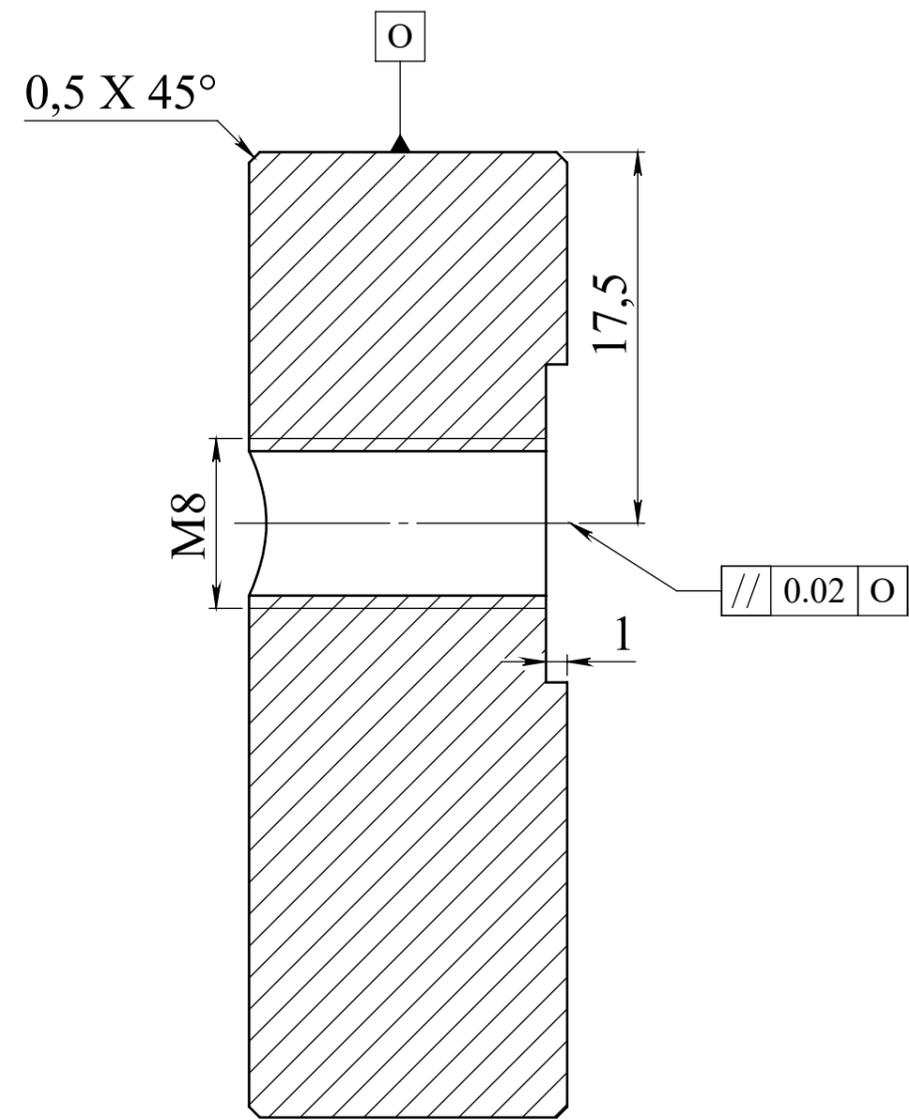
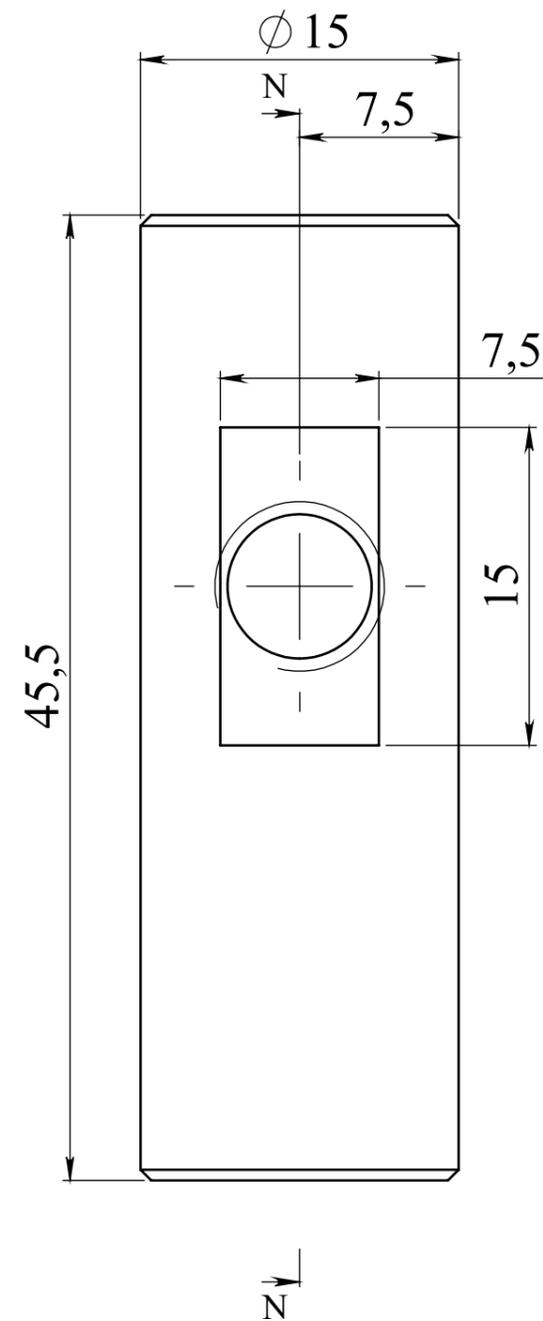
1	1	Plat 30x20.5	A60	/
REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110		REALISE PAR: RAMOUL Lyes
		S/ENS guide plaque		06/08/2017
		A3	FGC DGM UMMTO	MASTER II



Nota: Ra= $\sqrt{1.6}$

IT= ± 0.02 sauf indication

REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
1	1	Axe $\phi 18$ x 38	A60	/
ECHELLE: 1:2		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110		REALISE PAR: RAMOUL Lyes
		S/ENS serre plaque		06/08/2017
A3		FGC DGM UMMTO		MASTER II

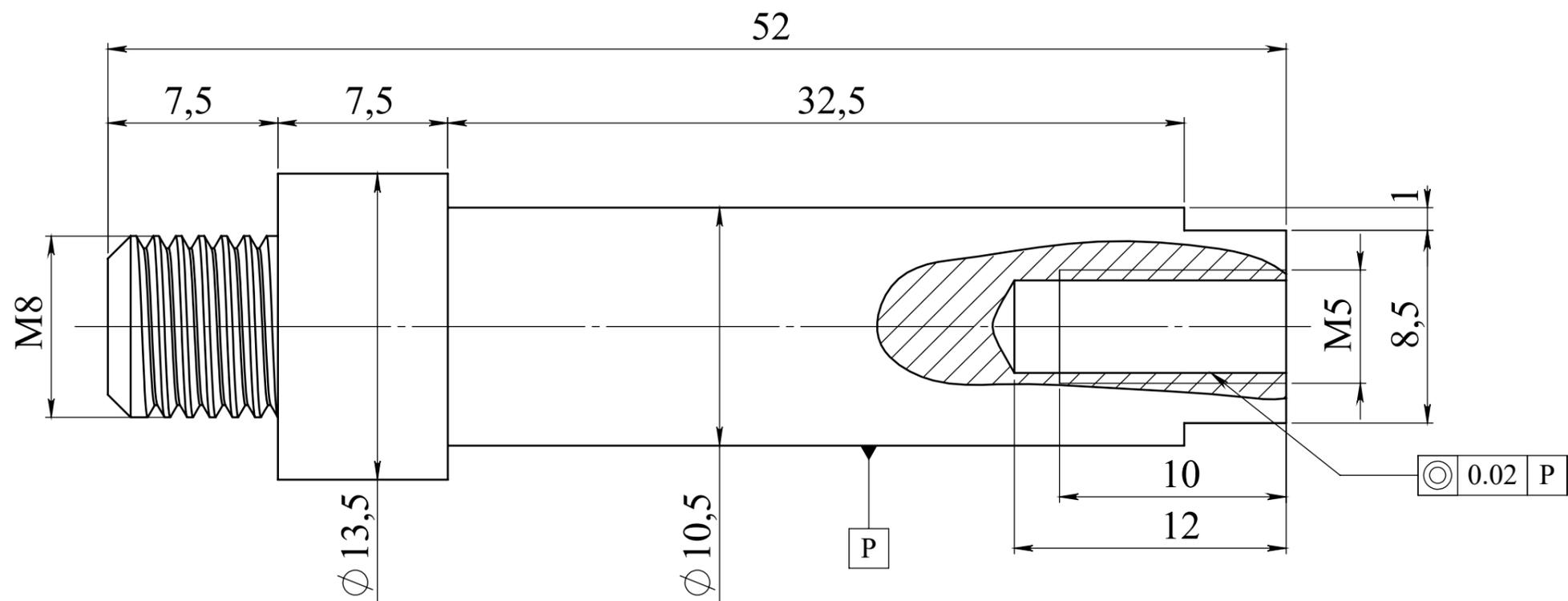


COUPE N-N

Nota: Ra= $\sqrt{1.6}$

IT= ± 0.02 sauf indication

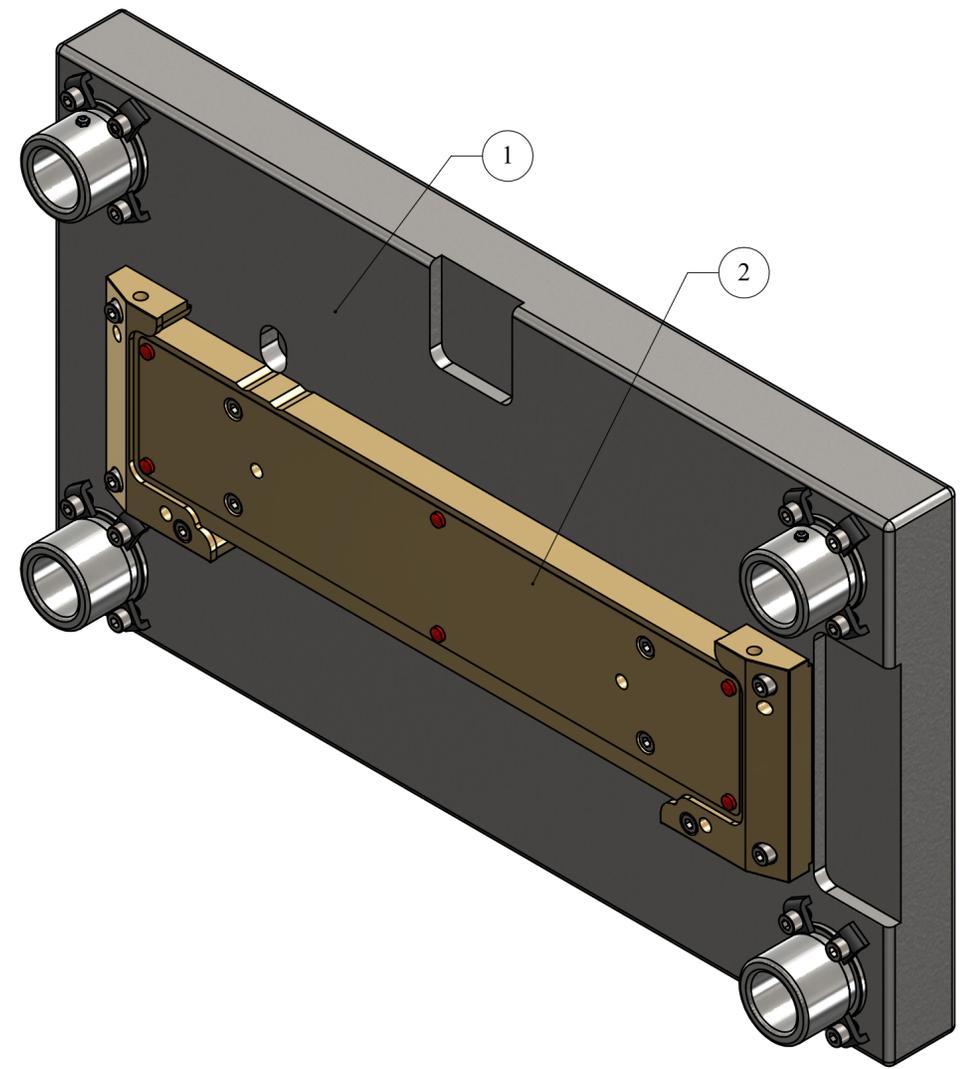
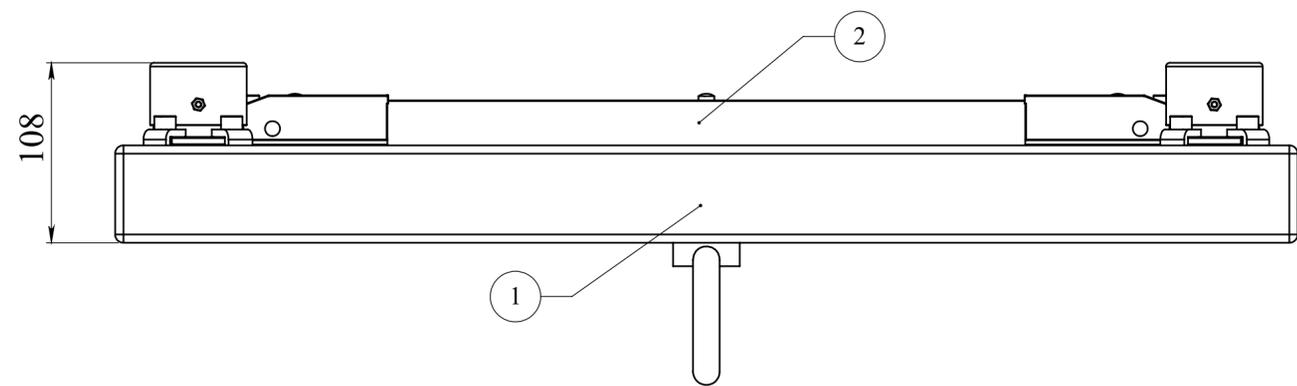
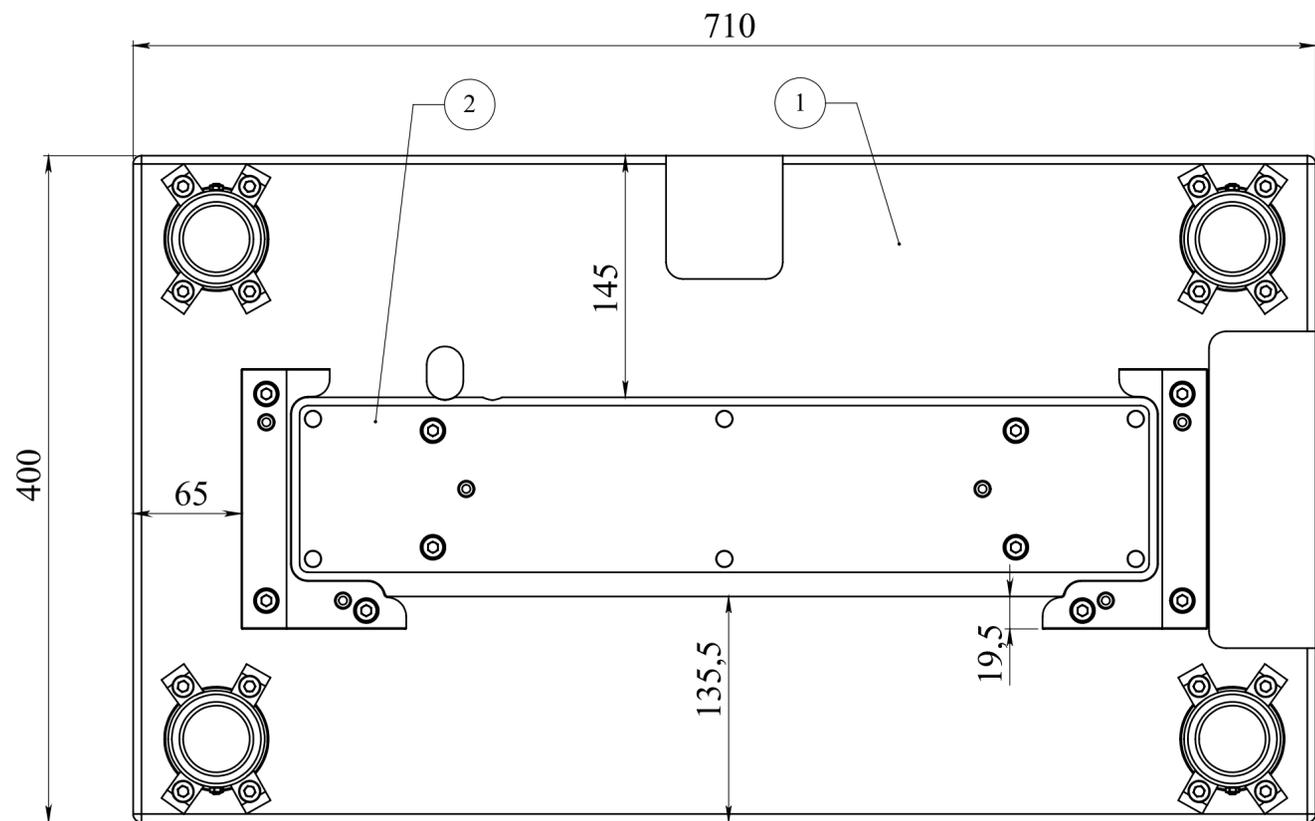
1	1	Axe $\phi 15$ x 45.5	A60	/
REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110		REALISE PAR: RAMOUL Lyes
		S/ENS guide plaque		06/08/2017
		FGC DGM UMMTO		MASTER II



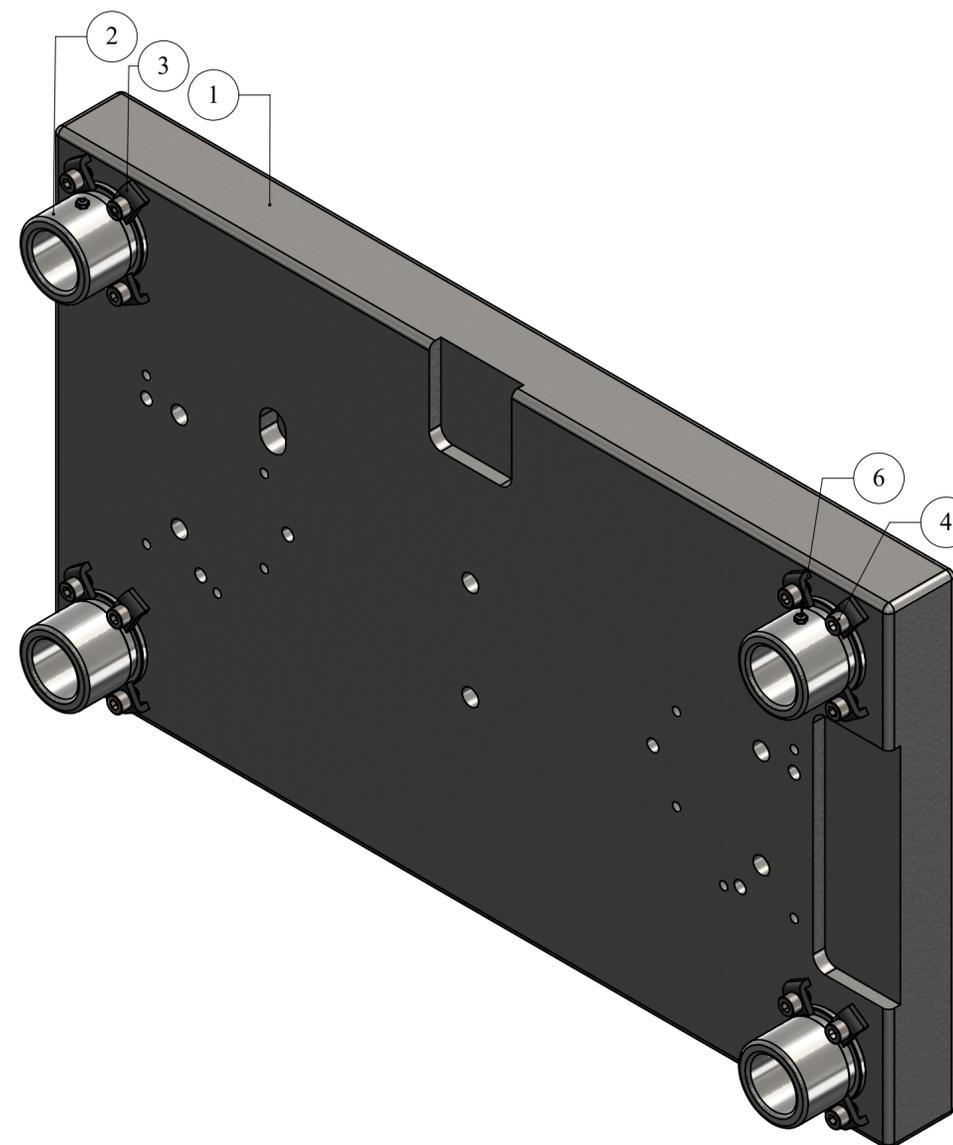
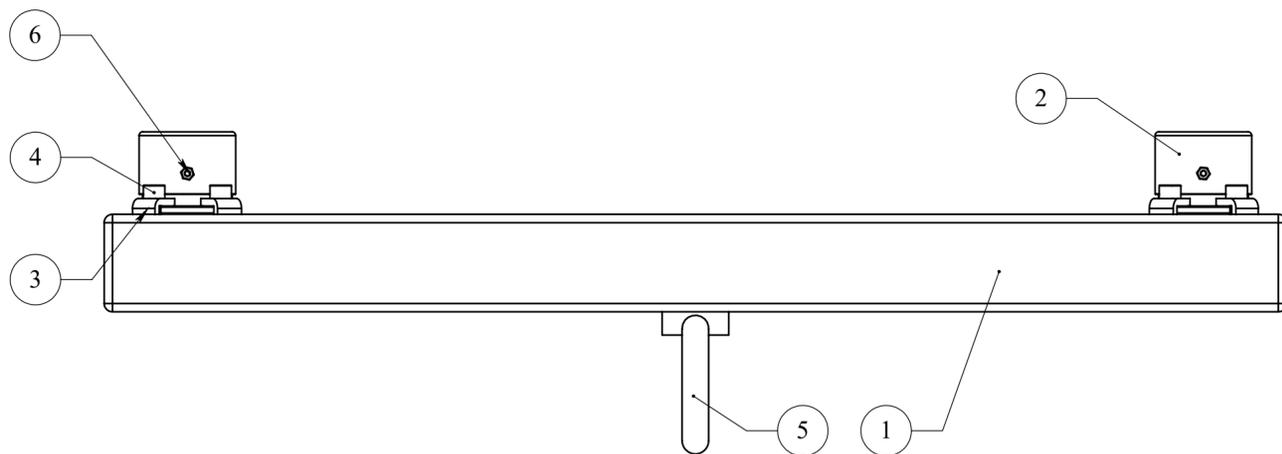
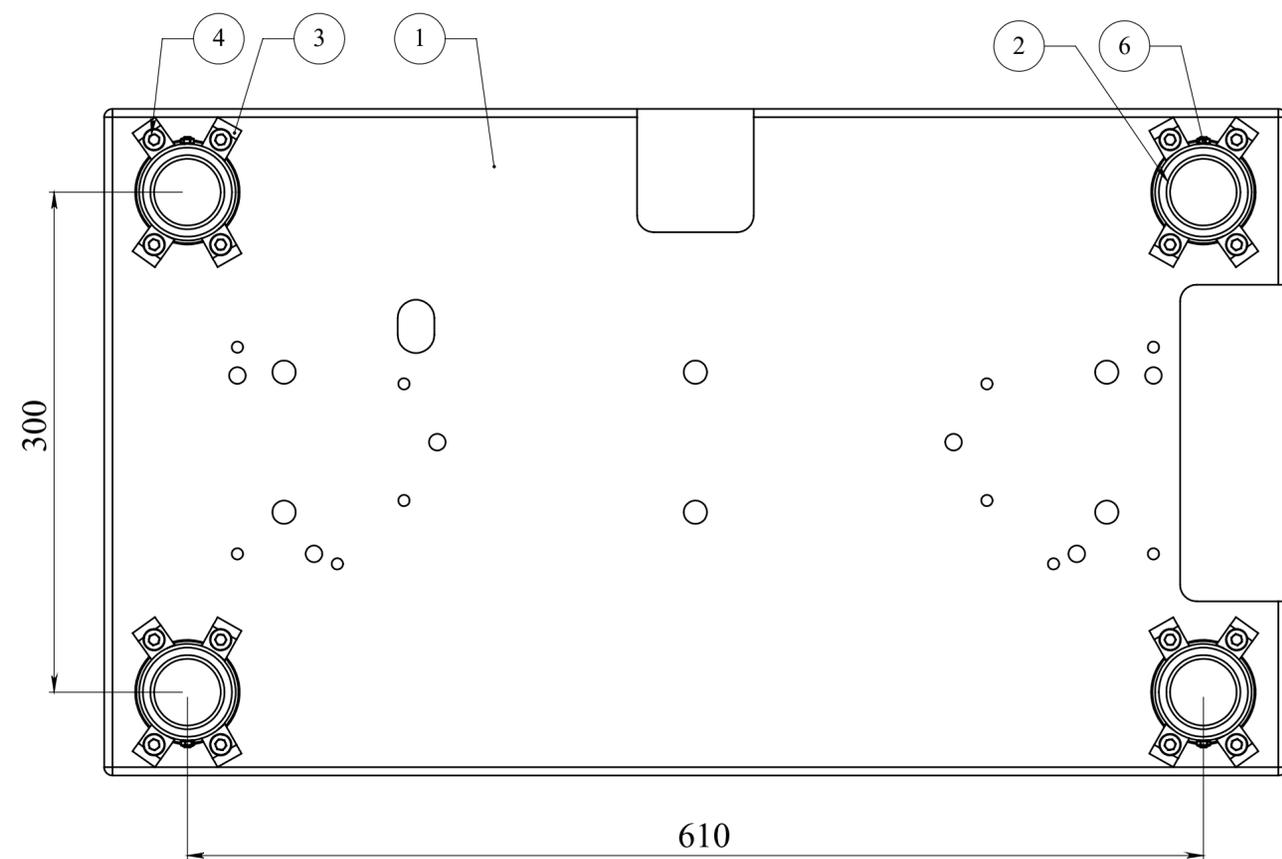
Nota: Ra= $\sqrt{1.6}$

IT= ± 0.02 sauf indication

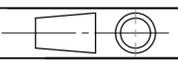
1	1	Axe $\phi 13.5 \times 52$	A60	/
REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE: 1:2		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110		REALISE PAR: RAMOUL Lyes
		S/ENS guide plaque		06/08/2017
A3		FGC DGM UMMTO		MASTER II

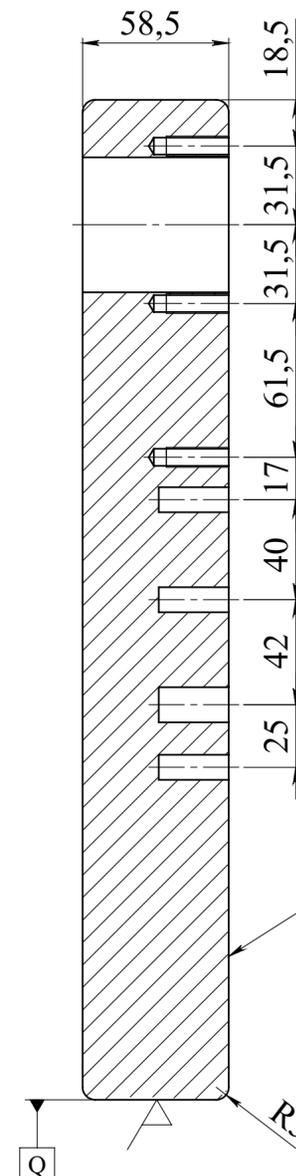
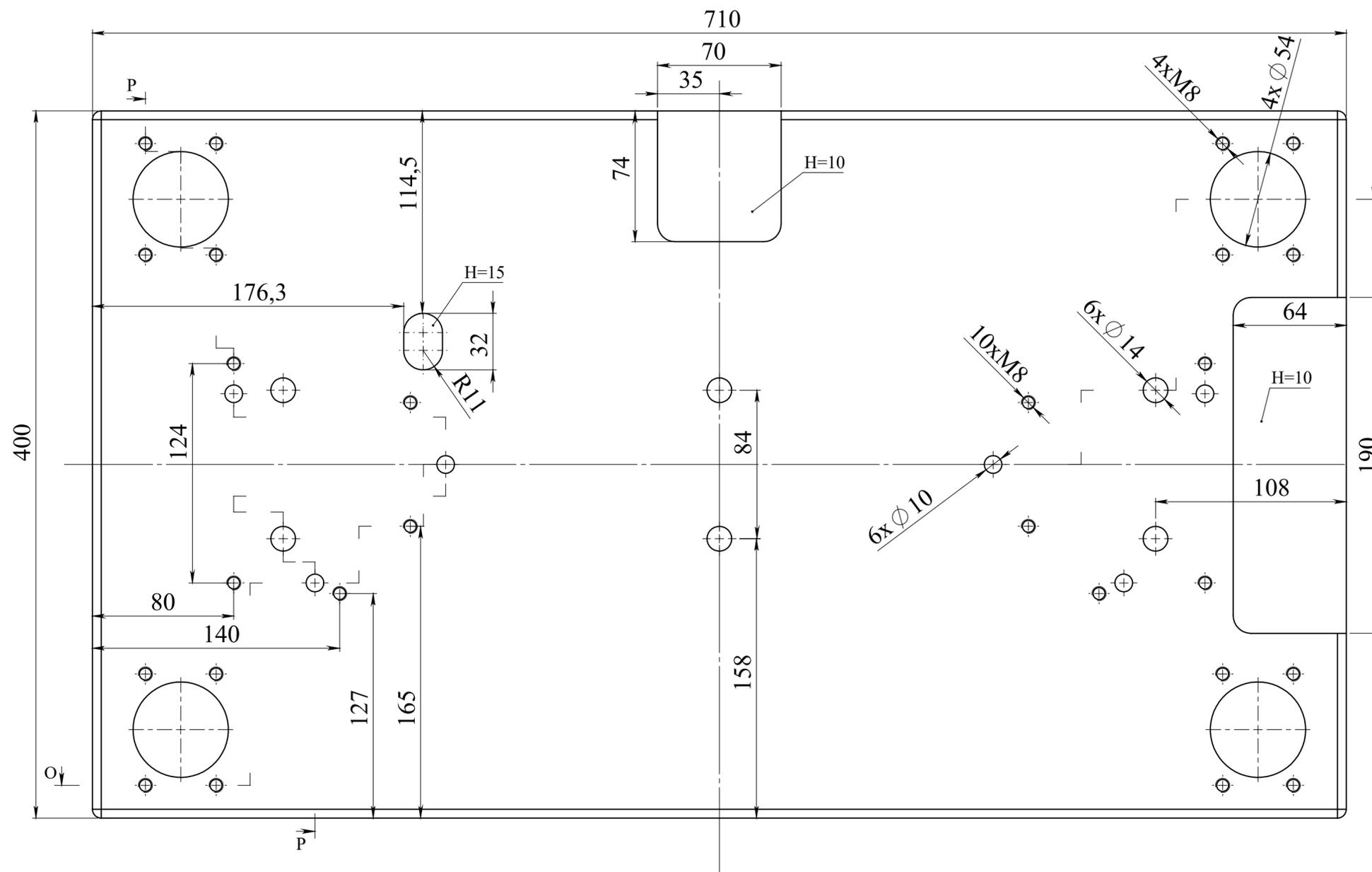


2	1	S/ENS Poinçons	/	/
1	1	S/ENS porte poinçons	/	/
REP/NBR	DESIGNATION		MATIERE	OBSERVATION
	MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110			REALISE PAR: RAMOUL Lyes
	Partie mobile			06/08/2017
	FGC DGM UMMTO			MASTER II

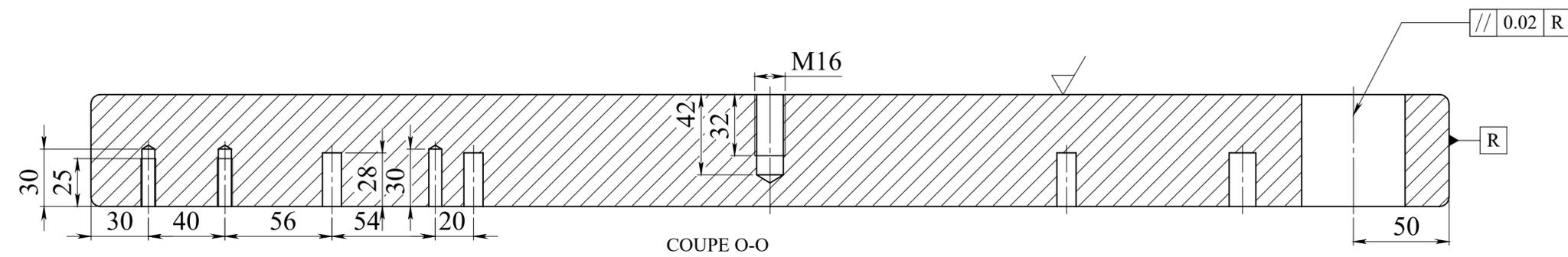


6	4	graisseur	/	/
5	1	Anneau de levage	Acier cadmié	/
4	16	Vis CHC M8 x 30	XC 65	/
3	16	Bride	XC 65	/
2	4	Bague de guidage	XC 48	Trempé
1	1	semelle supérieur	A60	/

REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE:		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110	REALISE PAR:	
1:2			RAMOUL Lyes	
		S/ENS Porte poinçons	06/08/2017	
A3		FGC DGM UMMTO	MASTER II	

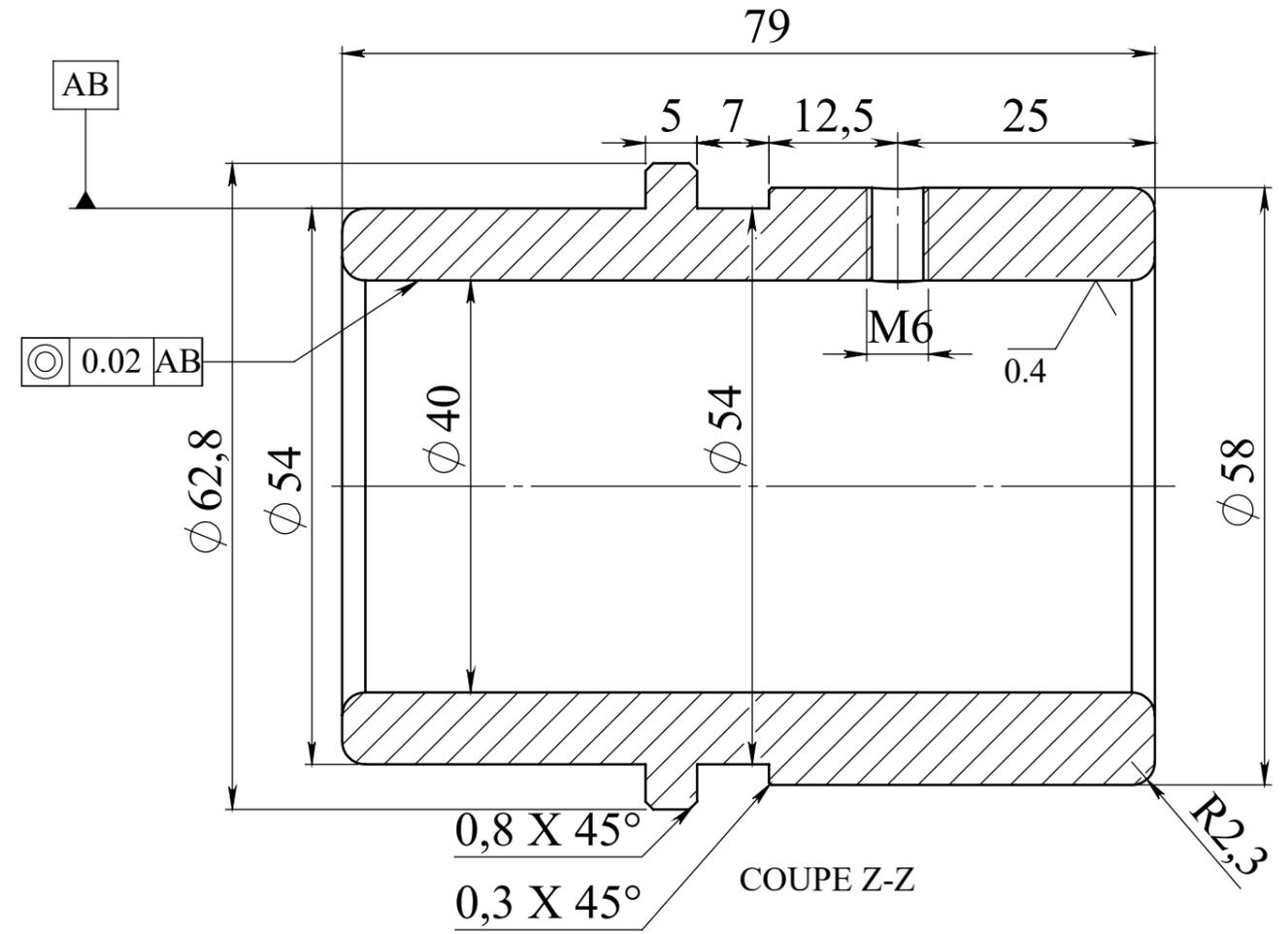
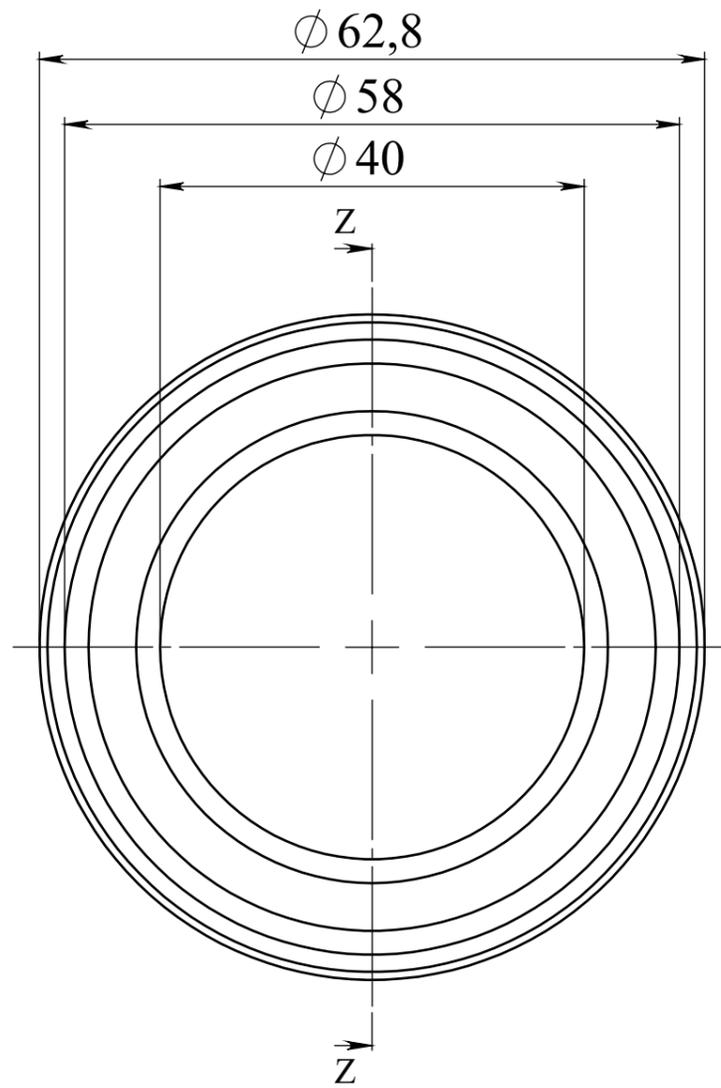


▮	0.01	Q
▨	0.02	



Nota: $R_a = \sqrt{1.6}$
 IT = ± 0.02 sauf indication

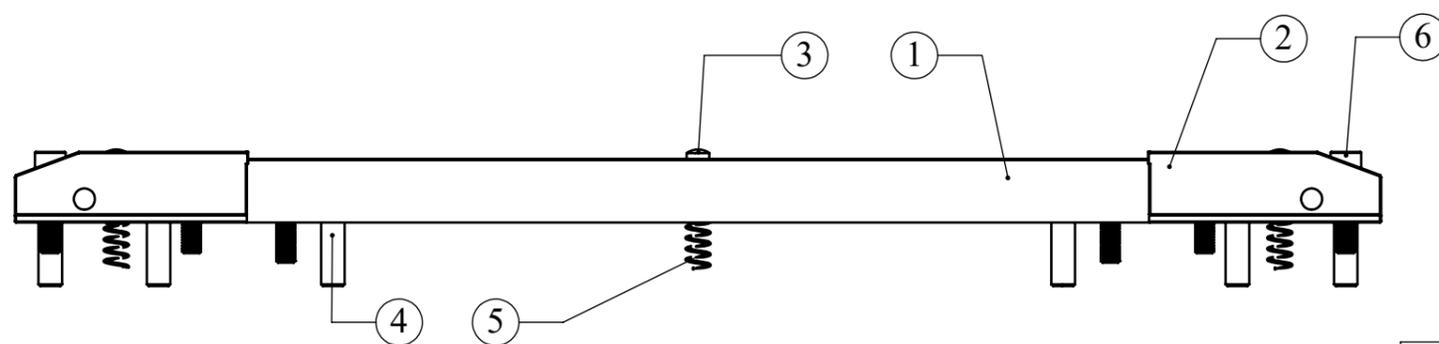
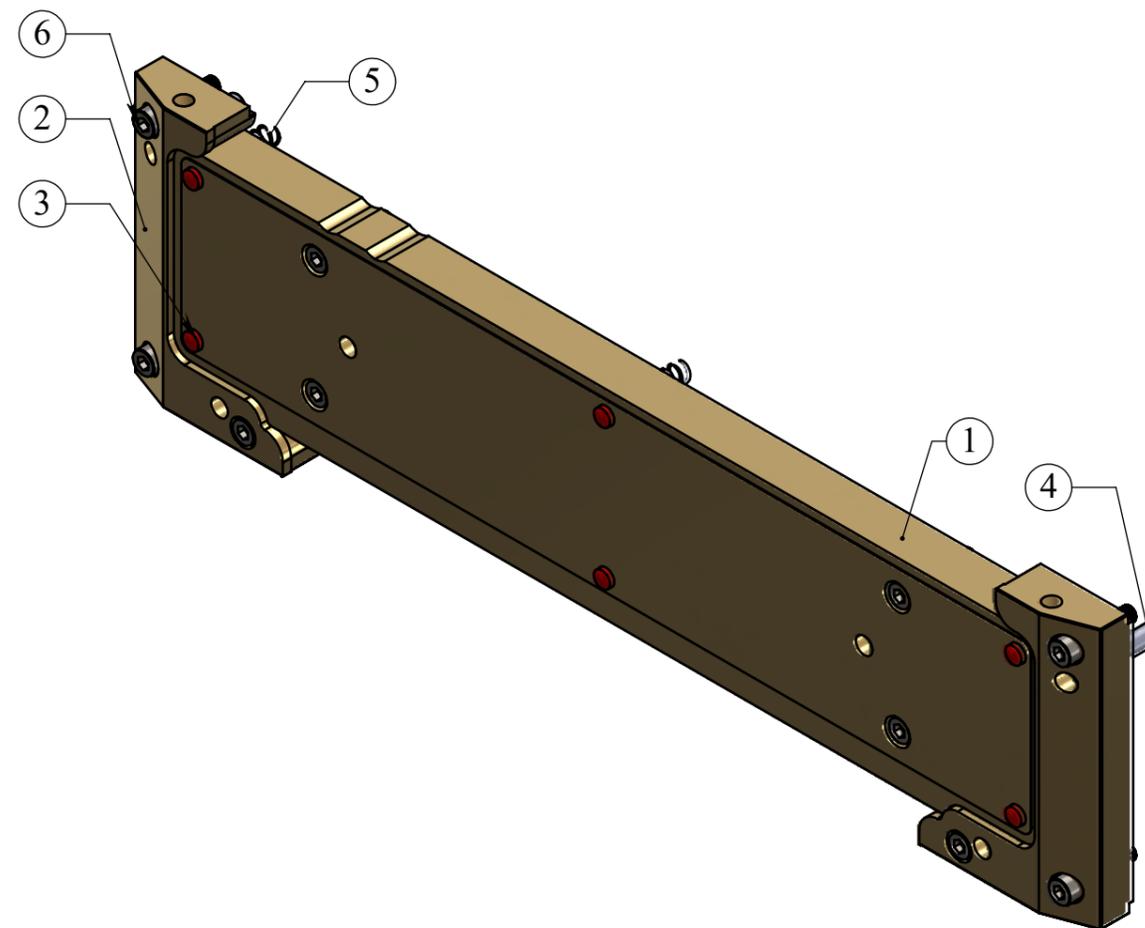
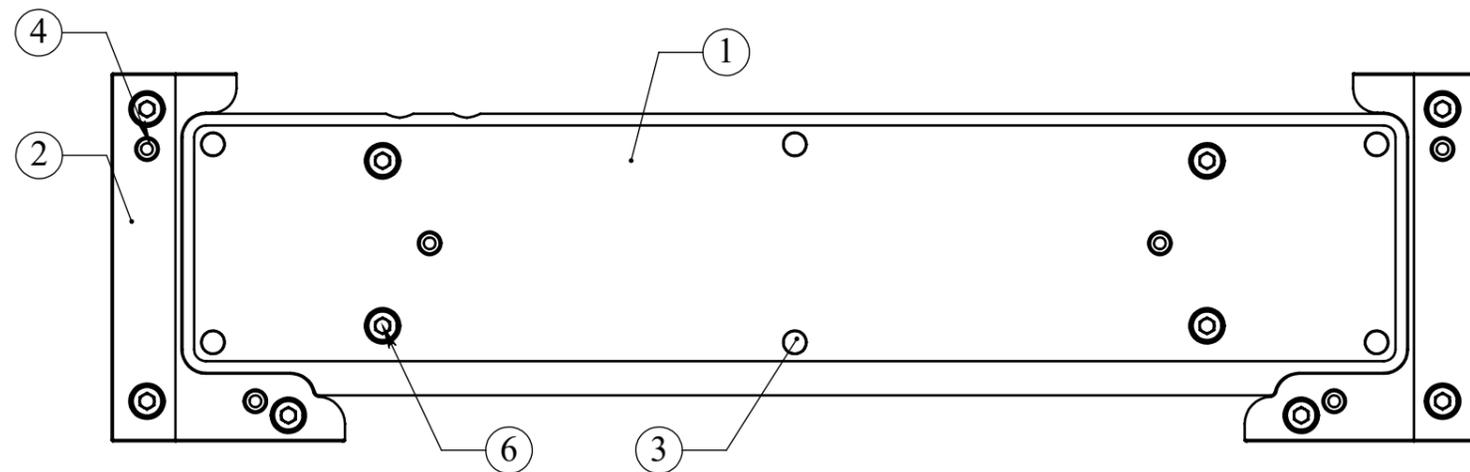
1	1	Semelle supérieur	A60	/
REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110		REALISE PAR: RAMOUL Lyes
		S/ENS Porte poinçons		06/08/2017
		FGC DGM UMMTO		MASTER II

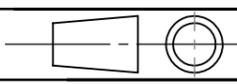


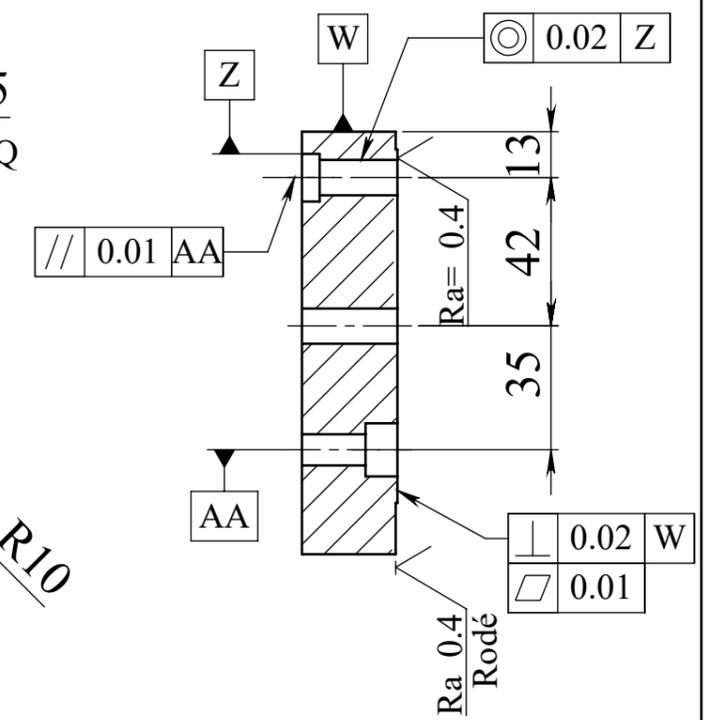
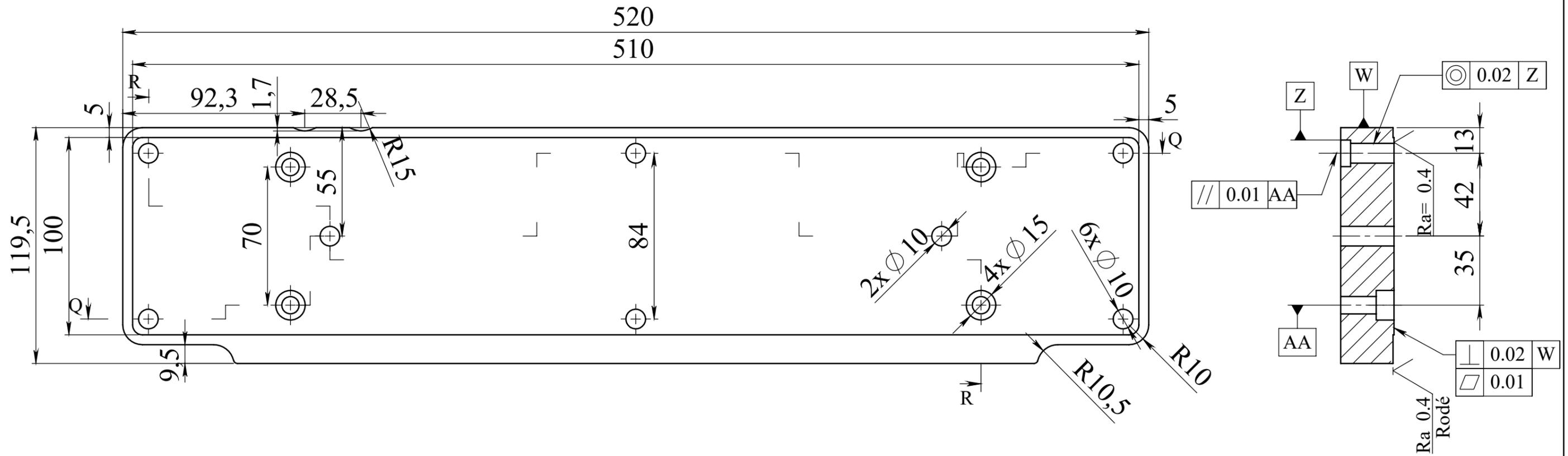
Nota: $Ra = \sqrt{0.8}$
sauf indication

IT = ± 0.02 sauf indication

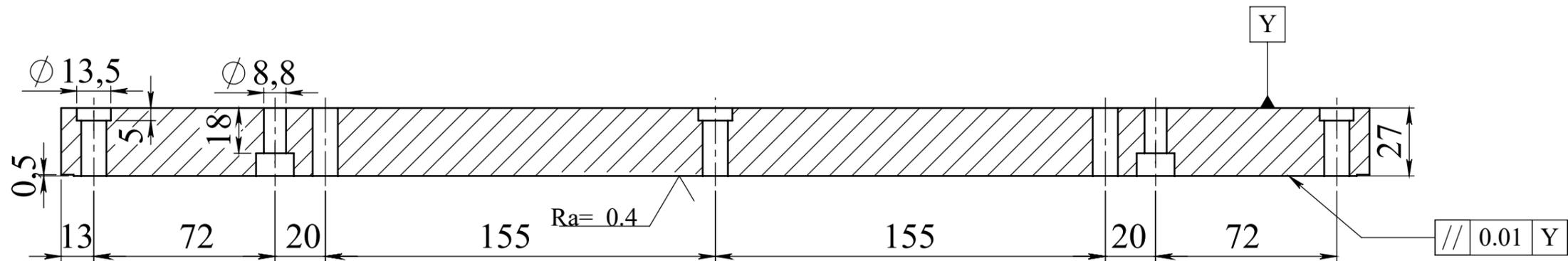
REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
1	1	Bague de guidage	XC 48	Trempé
ECHELLE: 1:2		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110		REALISE PAR: RAMOUL Lyes
		S/ENS Porte poinçons		06/08/2017
A3		FGC DGM UMMTO		MASTER II



6	10	Vis CHC M8 x 35	XC 65	/
5	6	ressort $\phi_{ext} 10$	50Cr V4	/
4	4	Goupille $\phi 10 \times 45$	100 Cr 6	Trempé
3	6	Ejecteur	ABS	/
2	2	poinçon de forme 2	Z200 C 12	Trempé
1	1	Embouti	Z200 C 12	Trempé
REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE: 1:2		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110		REALISE PAR: RAMOUL Lyes
		S/ENS Porte poinçons		06/08/2017
A3		FGC DGM UMMTO		MASTER II



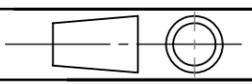
COUPE R-R

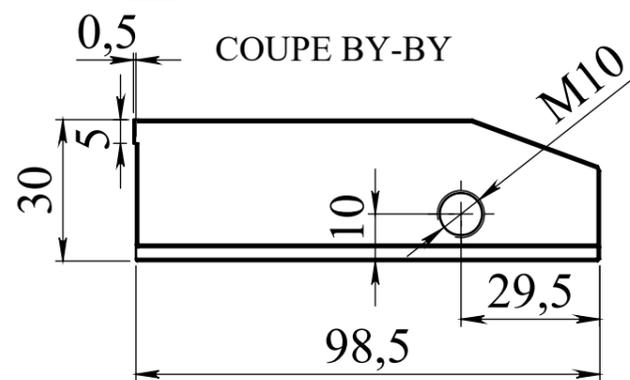
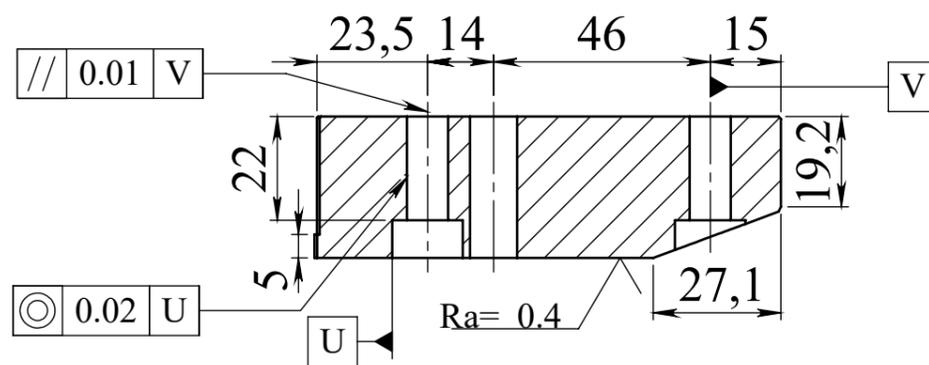
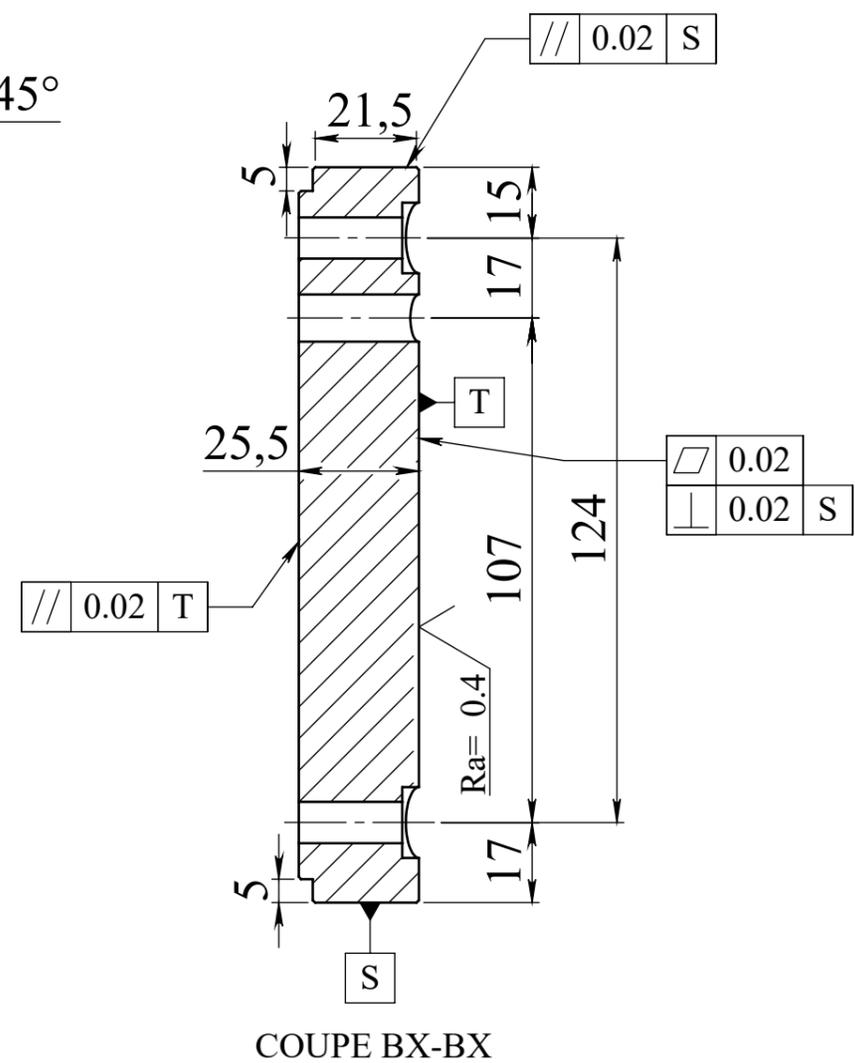
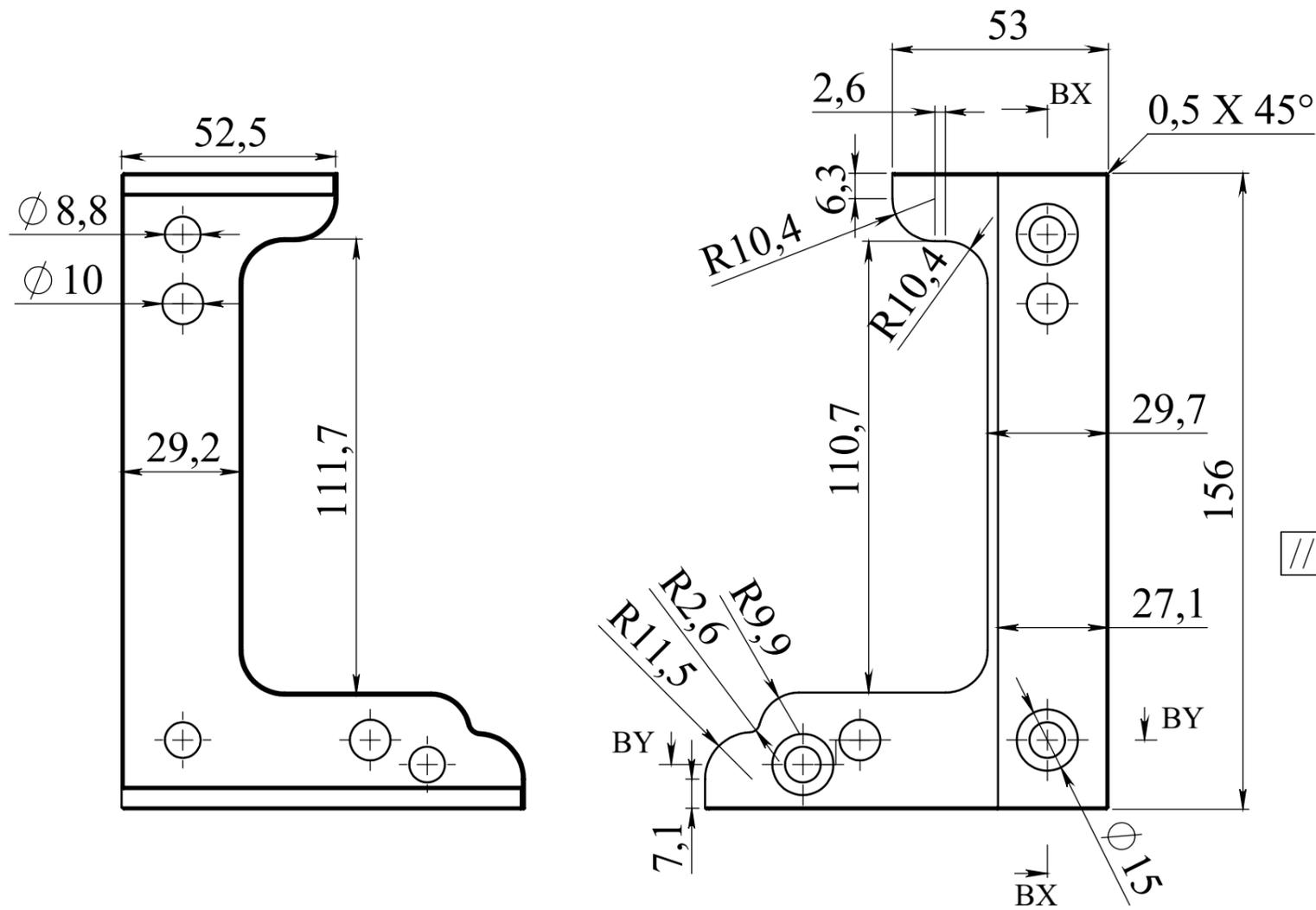


COUPE Q-Q

Nota: $Ra = \sqrt{0.8}$
sauf indication

IT= ± 0.02 sauf indication

1	1	Embouti	Z200 C12	Trempé
REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE:		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110	REALISE PAR:	
1:2			RAMOUL Lyes	
		S/ENS Porte poincons	06/08/2017	
A3		FGC DGM UMMTO	MASTER II	



Nota: $Ra = \sqrt{0.8}$
sauf indication

IT= ± 0.02 sauf indication

1	1	poinçon de forme 2	Z200 C12	Trempé
REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
		MOULE À EMBOUTISSAGE PLAQUE 110		REALISE PAR: RAMOUL Lyes
		S/ENS Porte poinçons		06/08/2017
	A3	FGC DGM UMMTO		MASTER II