

METALS EN FEUILLES	2
DEFINITIONS	2
TRAVAIL DES METAUX	2
APPLICATIONS	2
AVANTAGES	2
INCONVENIENTS	2
CONCLUSION	2
DECOUPAGE	3
GENERALITES	3
DEFINITIONS	3
ELEMENTS PRINCIPAUX CONSTITUANT UN OUTIL DE DECOUPE	3
PRINCIPE	3
DESIGNATION DES OPERATIONS DE DECOUPAGE	3
ANALYSE DU PROCESSUS DE DECOUPE	4
DESCRIPTION DU PHENOMENE	4
FORME DE LA DECOUPE	5
JEU POINÇON – MATRICE	6
ROLE	6
VALEUR DES JEUX SUIVANT LA MATIERE	6
SUR QUEL PIECE FAUT IL PORTER LE JEU ?	7
EXEMPLE DE CALCUL DU JEU	7
EXERCICE DE CALCUL DU JEU	8
DETERMINATION DES EFFORTS DE DECOUPAGE	9
EFFORT PRINCIPAL DE DECOUPAGE	9
EFFORT D'EXTRACTION	10
EFFORT D'EJECTION	11
EFFORT TOTAL DE DECOUPAGE	11
CALCUL DE L'EFFORT TOTAL DE DECOUPAGE	11
REDUCTION DES EFFORTS DE DECOUPE.	12
MISE EN BANDE	13
DEFINITION	13
DEFINITION DU PAS	13
DEFINITION DU POURCENTAGE DE DECHET	13
DISPOSITIFS DE CONTROLE D'AVANCE DE LA BANDE	15
OBJECTIF	15
BUTEES OU ENGRENAGES	15
COUTEAU	15
CLASSIFICATION DES OUTILS DE DECOUPE	16
OUTIL SIMPLE NON GUIDE	16
OUTIL A DEVETISSEUR FIXE	16
OUTIL A DEVETISSEUR ELASTIQUE	17
OUTIL PROGRESSIF	17
OUTIL SUISSE	18
TRAVAUX DIRIGE	19
PRESENTATION	19
DETERMINATION DES JEUX DE DECOUPAGE	19
DETERMINATION DES EFFORTS DE DECOUPAGE	19
CHOIX DE MISE EN BANDE	19

Métals en feuilles

Définitions

Un métal en feuille est une pièce métallique, dont la géométrie respecte les deux conditions suivantes:

$$e \leq 10 \text{ mm} \text{ et } e \leq 10 \times l$$

e : épaisseur de la tôle

l : plus grande longueur de tôle

Travail des métaux

Le travail des métaux en feuilles consiste soit à la découpe par cisaillement, soit à la déformation irréversible (par choc ou par pression: emboutissage, pliage etc...)

Applications

Les métaux en feuilles sont beaucoup utilisés pour tout ce qui est cartérisation et contenant.

Carrosserie automobile: Découpage + Emboutissage

Carter Machine: Découpage, Pliage, Soudage

Casserole, Mobilier : Découpage, Pliage, Détourage, Soudage

Boîtes de conserves

Plaques d'habillage de portes

etc.....

Avantages

Il s'agit généralement de procédés simples à mettre en place. Les machines modulaires permettent une grande variété de forme. Le coût de revient des pièces réduits pourvu que l'on produise en grande série.

Inconvénients

La précision des cotes obtenues est peu constantes et dépend de beaucoup de paramètres.

Conclusion

Il s'agit de procédés qui s'appliquent principalement aux pièces de grande et moyenne série.

Découpage

Généralités

Définitions

Le découpage à froid consiste à détacher par **CISAILLEMENT** un contour donné d'un **PRODUIT PLAT (TOLE)**, l'opération se fait sur une presse par l'intermédiaire d'un outil dont les parties travaillantes (**ARETES DE COUPE**) sont le poinçon et la matrice qui glissent l'une par rapport à l'autre. L'élément de tôle détaché est appelé le **FLANC** ou la **DEBOUCHURE**.

Eléments principaux constituant un outil de découpe

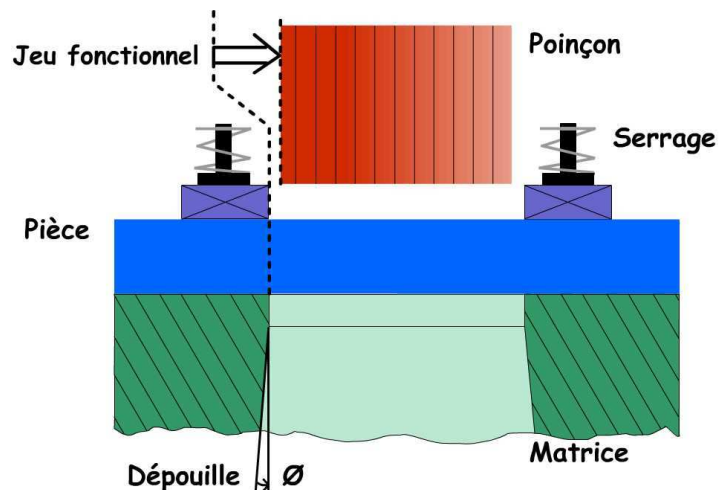
Le **POINÇON** : Pièce pleine dont la base à la forme de la pièce à découper. Il est de **SECTION CONSTANTE**.

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 DEPOUILLE** d'environ 5% pour éviter le laminage des flans sur une trop grande longueur, et réduire l'effort fourni par la presse.

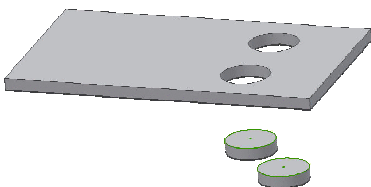
La course des poinçons doit être réglée pour ne pas pénétrer dans la matrice (éviter usure et dégâts...).

Principe

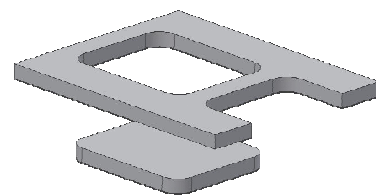
Une partie de l'outil associant poinçon(s) et matrice(s) est bridée sur la table fixe de la presse, tandis que l'autre partie est animée du mouvement alternatif du coulisseau. A chaque course, un ou plusieurs découpages sont effectués.



Désignation des opérations de découpage

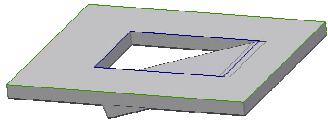


POINÇONNAGE : On conserve la partie extérieure. Le déchet est la débouchure.

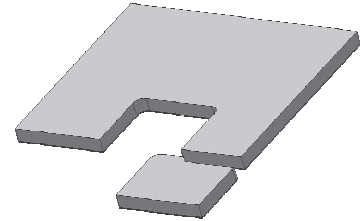


DECOUPAGE : Obtention d'un flan par séparation suivant une ligne fermée dans une bande ou une feuille. Le déchet est appelé squelette.

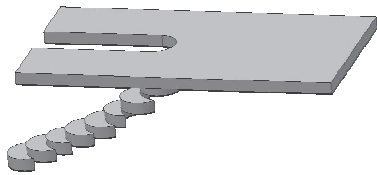
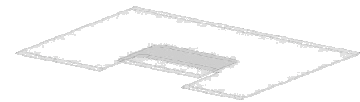




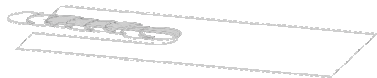
CREVAGE : **Découpage partiel.**



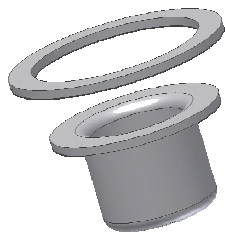
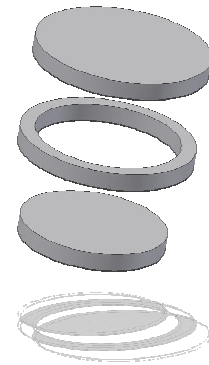
ENCOCHAGE : **Découpage débouchant sur un contour.**



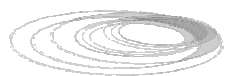
GRIGNOTAGE : **Poinçonnage partiel**



ARASAGE ou REPASSAGE : **Découpage en reprise (précision et état de surface).**



DETOURAGE : **Finition d'un contour déjà ébauché, modifié au cours d'une déformation.**

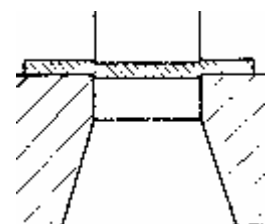


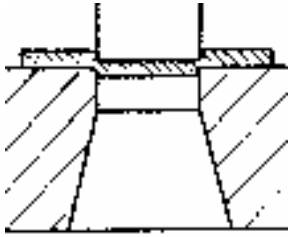
Analyse du processus de découpe

Description du phénomène

Un outil de découpe est principalement constitué d'un poinçon et d'une matrice. La tôle à découper étant située entre les deux. Lors du découpage, on distingue 3 phases :

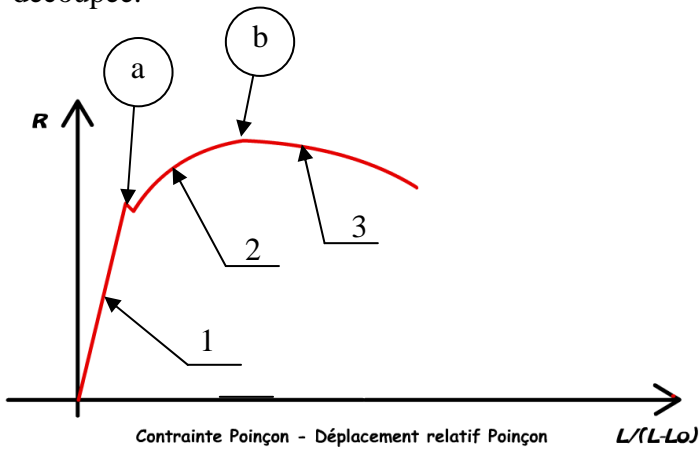
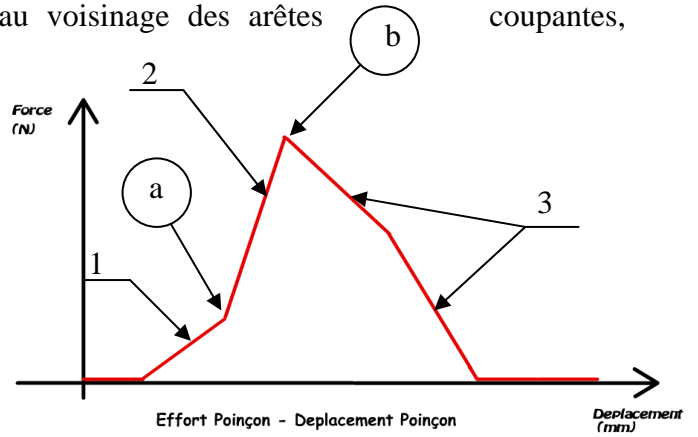
1 - Au début, l'effort croît lentement jusqu'au point **a**. Le poinçon s'enfonce lentement sans détacher les particules de métal. C'est la phase de déformation élastique.





2 - Ensuite, l'effort prend sa valeur maximum **b** : c'est l'effort de cisaillement (séparation et accélération des particules de métal). Des fissures apparaissent au voisinage des arêtes coupantes, du côté poinçon et du côté matrice.

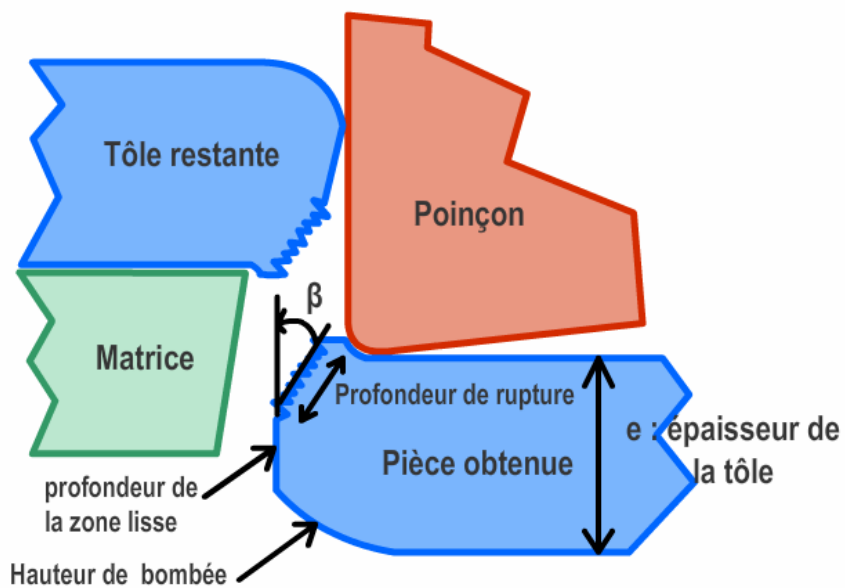
3 - Enfin, l'effort tombe jusqu'à la valeur nécessaire pour vaincre le frottement entre les parties détachées de matière et pour l'éjection de la pièce découpée. Les fissures se rejoignent, la pièce est alors découpée.



Forme de la découpe

β : angle de rupture

de 3° à 6° suivant les matériaux

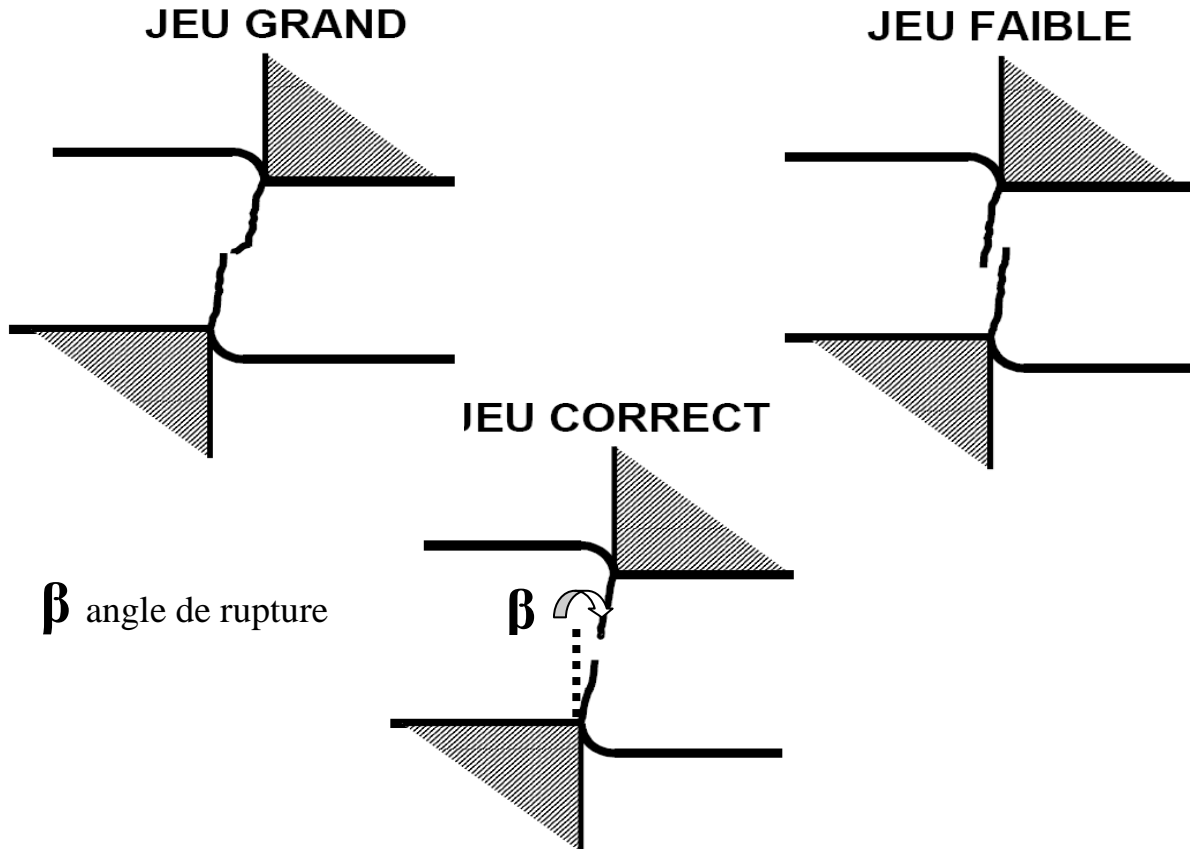


Jeu Poinçon – Matrice

Rôle

Pour un bon fonctionnement de l'outil, il est nécessaire d'assurer un jeu fonctionnel entre la matrice et le poinçon. Il réduit **LE RISQUE DE GRIPPAGE OU DE RUPTURE DE LA MATRICE**.

Il permet également de garantir une coupe nette est franche.



β angle de rupture

Valeur des jeux suivant la matière

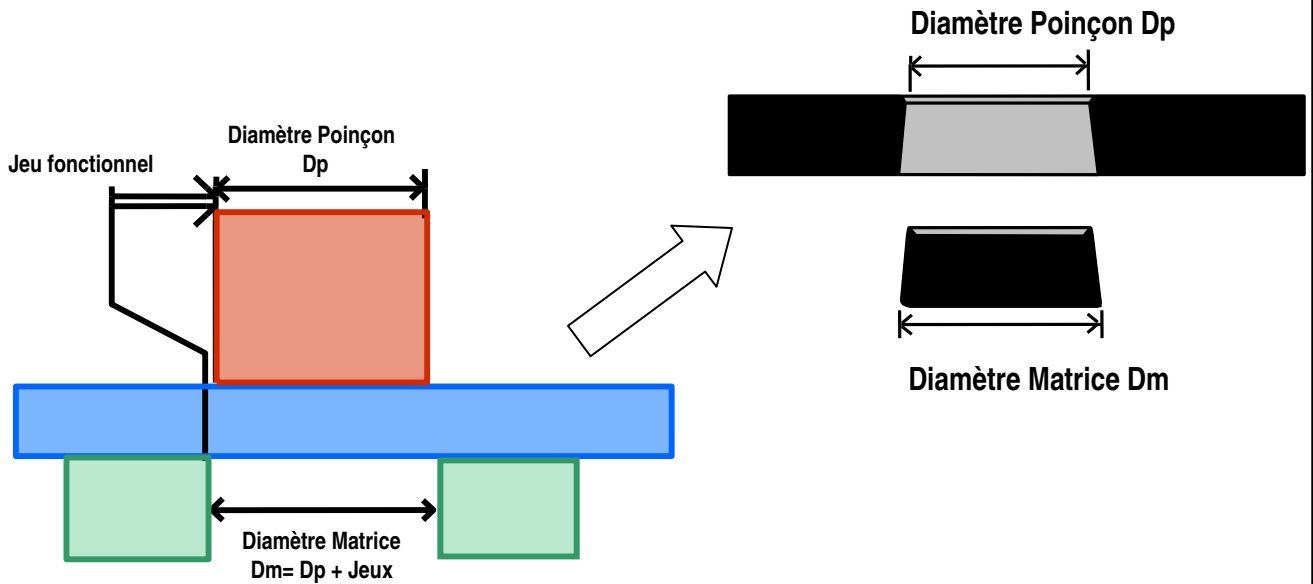
La valeur du jeu s'évalue en fonction de l'épaisseur de la bande (de façon à ce que les deux amorces de ruptures se rejoignent parfaitement).

Laiton et Cuivre	: 1/20 ^{ème} de l'épaisseur de la bande	$J = \frac{1}{20} \times e$
Acier ½ dur	: 1/16 ^{ème} de l'épaisseur de la bande	$J = \frac{1}{16} \times e$
Acier	: 1/14 ^{ème} de l'épaisseur de la bande	$J = \frac{1}{14} \times e$
Alliage d'aluminium	: 1/10 ^{ème} de l'épaisseur de la bande	$J = \frac{1}{10} \times e$

Question : Evaluer pour chacun de ces matériaux, la valeur approximative de l'angle de rupture.

Sur quel pièce faut il porter le jeu ?

Du fait de la présence du jeu, l'ajour dans la bande aura une forme conique.

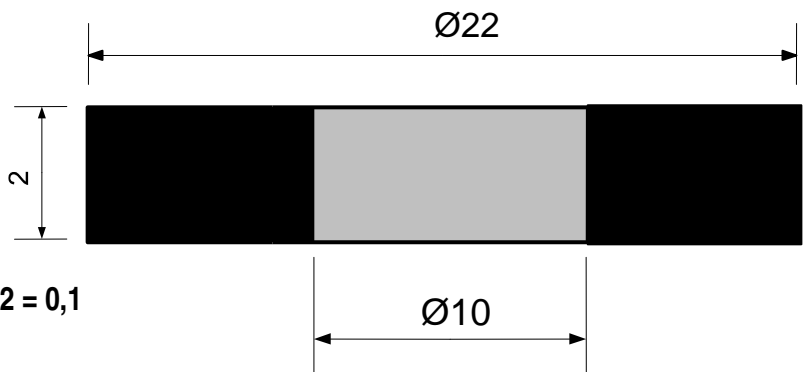


Conséquence: le JEU sera pris :

- Sur la **MATRICE** si l'on désire un **AJOUR** précis
- Sur le **POINCON** si l'on désire un **FLAN** précis

Exemple de calcul du jeu

Découpage et poinçonnage d'une rondelle.
Calculer la valeur du jeu et déterminer les différents diamètres du poinçon et de la matrice.



Valeur du jeu: $1/20 \times 2 = 0,1$

Pour le diamètre $\text{Ø}10$. On désire un ajour précis.
Le jeu est donc à mettre sur la matrice.

Trou $\text{Ø}10$ — $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ø Poinçon : } 10 \text{ mm} \\ \text{Ø Matrice : } 10 + 0.1 = 10.1 \text{ mm} \end{array} \right.$

Pour le diamètre $\text{Ø}22$. On désire un flan précis.
Le jeu est donc à mettre sur poinçon.

Trou $\text{Ø}10$ — $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ø Poinçon : } 22 - 0.1 = 21.9 \text{ mm} \\ \text{Ø Matrice : } 22 \text{ mm} \end{array} \right.$

Détermination des Efforts de découpage

Effort principal de découpage

Les efforts de découpage sont calculés par une formule empirique qui a l'avantage de fournir une bonne approximation tout en étant très simple d'utilisation :

F : effort de découpage (daN) **e** : épaisseur de la tôle (mm)

$$F = P \times e \times Rg$$

P : périmètre du profil détaché (mm) **Rg** : résistance pratique au cisaillement (daN/mm²)

La formule précédente nécessite l'utilisation de Rg (résistance pratique au cisaillement exprimé en daN/mm²). On admet généralement que Rg correspond à 8/10 de Rm.
 Rm : résistance à la rupture par extension (daN/mm²)

Matériaux	Rm (daN/mm ²)	A %
Acier à 0,1% de carbone (recuit)	19	
Acier à 0,2% de carbone (recuit)	25	
Acier à 0,3% de carbone (recuit)	30	
Acier inoxydable	49 à 69	40
Aluminium (doux)	12,5	40
Duralumin	45	17
Laiton (recuit)	18	25

Exemple de calcul de l'effort principal

On réalise sur un seul poste le découpage et poinçonnage de la pièce ci contre. Déterminer l'effort principal de découpage.

- Périmètre P1 = 231,4mm
- Périmètre P2 = 31,4 mm
- Périmètre P3 = 60 mm
- Périmètre P4 = 40 mm
- Périmètre P5 = 100 mm

- Périmètre Total P
- P = P1 + P2 + P3 + P4 + P5
- = 462,8 mm

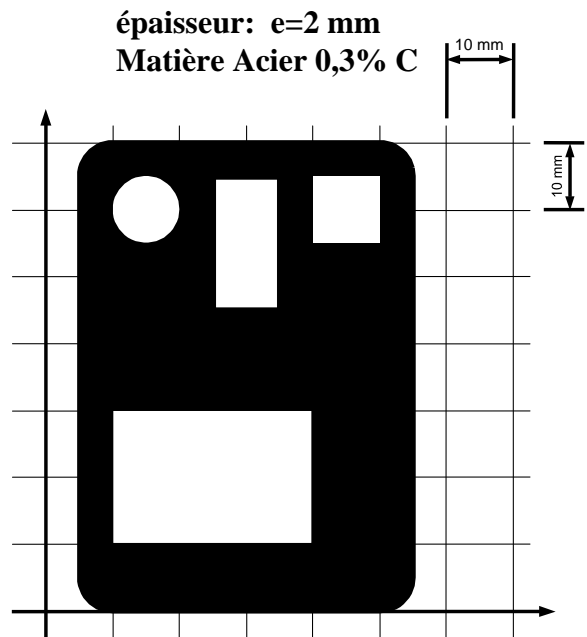
F = P x e x Rg

- Périmètre Total P = 462,8 mm
- Matière Acier 0,3% C
- D'après le tableau
- Rm = 30 daN/mm
- Rg = 80 % de Rm
- Soit Rg = 24 daN/mm
- Epaisseur de la pièce
- e = 2 mm

F = P x e x Rg

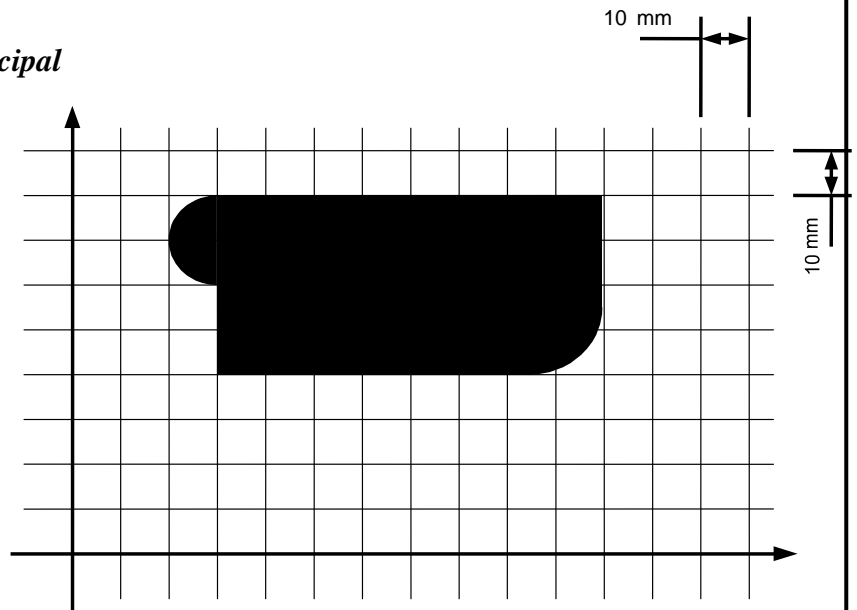
= 462,8 x 24 x 2

= 22214 daN



Exercice de calcul de l'effort principal

On réalise sur un seul poste le découpage de la pièce ci contre. Déterminer l'effort mis en oeuvre pour découper cette pièce.



Détermination du périmètre découpé.

$P1 = p \times 10 \times 2 / 2 = 31,4 \text{ mm}$
 $P2 = 80 + 25 = 105 \text{ mm}$
 $P3 = p \times 15 \times 2 / 4 = 23,55 \text{ mm}$
 $P4 = 65 + 20 = 85 \text{ mm}$

$P = P1 + P2 + P3 + P4$
 $= 244,95 \text{ mm}$

Effort d'extraction

$F = P \times e \times Rg$

- Périmètre Total $P = 245 \text{ mm}$

- Matière Acier Inox

D'après le tableau

$Rm = 60 \text{ daN/mm}^2$

$Rg = 80 \% \text{ de } Rm$

Soit $Rg = 48 \text{ daN/mm}$

- Epaisseur de la pièce

$e = 3 \text{ mm}$

$F = P \times e \times Rg$

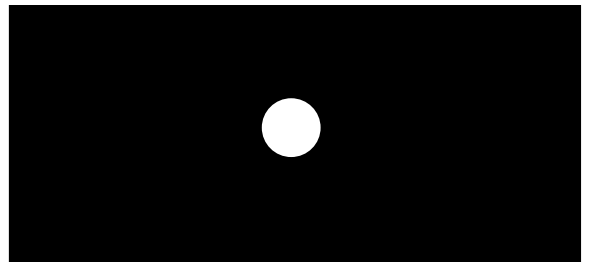
$= 245 \times 3 \times 48$

$= 35280 \text{ daN}$

C'est l'effort **NECESSAIRE POUR DECOLLER LA BANDE DE METAL DU POINÇON.** Cet effort varie suivant l'importance du déchet autour de celui ci.

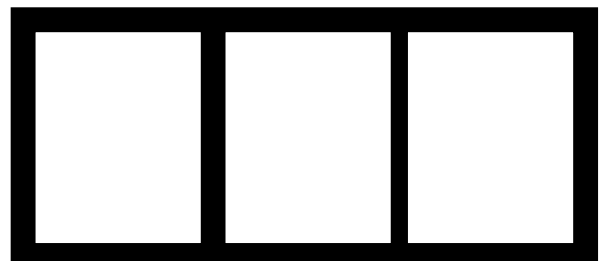
Pour un découpage en pleine tôle, donc avec d'important déchet, l'effort d'extraction est égal à 7% de l'effort de découpage.

$F_{\text{extraction}} = 7\% F_{\text{decoupage}}$



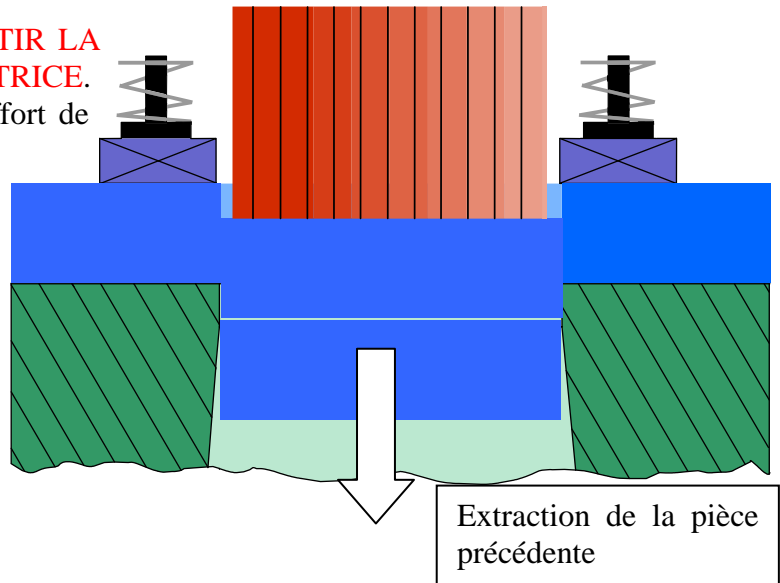
Pour une faible perte de métal (déchet faible), l'effort d'extraction est égal à 2% de l'effort de découpage.

$F_{\text{extraction}} = 2\% F_{\text{decoupage}}$



Effort d'éjection

C'est l'effort nécessaire **POUR SORTIR LA PIÈCE DECOUPEE DE LA MATRICE.**
 Cet effort est d'environ 1,3% de l'effort de découpage.



Effort total de découpage

L'effort de découpage est égal à la somme des différents efforts. son résultat permet de déterminer la presse adéquate. (L'effort correspondant à la presse d'exprime le plus généralement en tonne-force).

$$F = F_{\text{principal}} + F_{\text{extraction}} + F_{\text{ejection}}$$

Calcul de l'effort total de découpage

On reprend la pièce étudiée précédemment.
 On se propose de déterminée la capacité minimale de la presse permettant de réaliser ce découpage.

$$F_{\text{principal}} = 22214 \text{ daN}$$

$$F_{\text{extraction}} = 5\% F_{\text{principal}}$$

$$F_{\text{extraction}} = 1110,7 \text{ daN}$$

$$F_{\text{extraction}} = 5\% F_{\text{principal}}$$

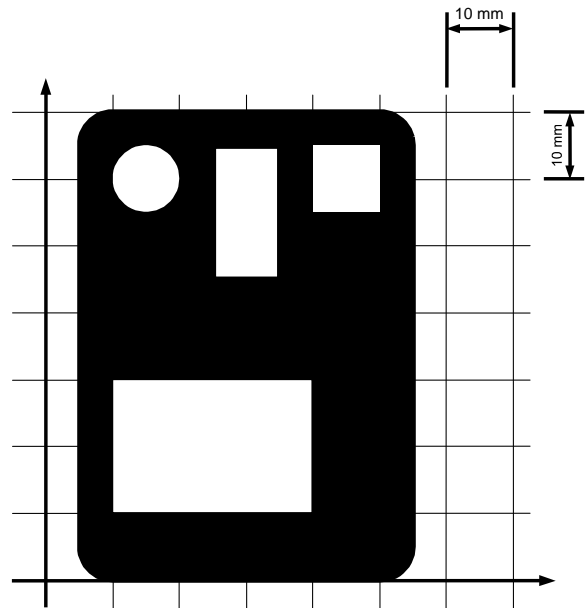
$$F_{\text{extraction}} = 1110,7 \text{ daN}$$

$$F_{\text{decoupage}}$$

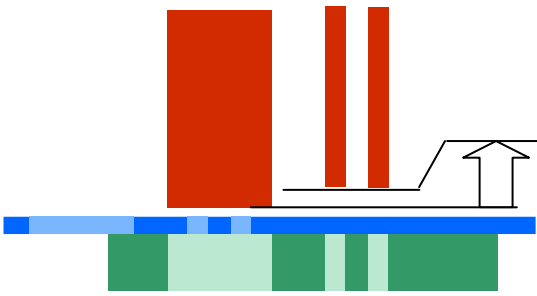
$$= F_{\text{principal}} + F_{\text{extraction}} + F_{\text{ejection}}$$

$$F_{\text{decoupage}} = 23613,4 \text{ daN}$$

Il est donc nécessaire d'utiliser une presse développant au minimum 24 tonnes forces (24 000 kilo forces, soit 24 000 daN)

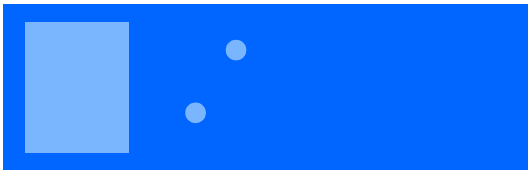


Réduction des efforts de découpe.



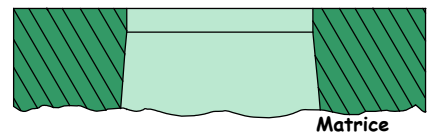
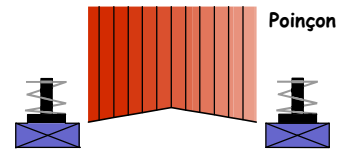
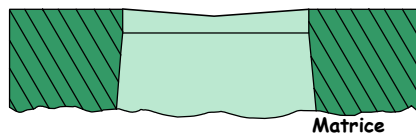
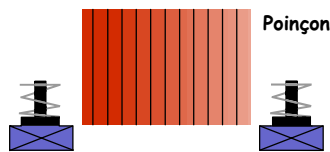
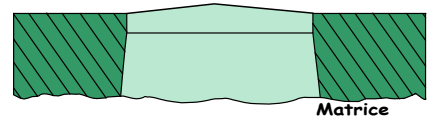
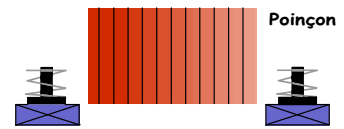
- Poinçons étagés:

Ils sont de longueurs différentes. Les plus courts poinçonnent la pièce. Les plus long découpe la pièce. La différence de longueur est égale à l'épaisseur du métal découpé.



Vagues de coupe:

La profondeur de la vague est voisine de l'épaisseur du métal à couper. Les vagues placées sur la matrice déforment la bande, placées sur le poinçon déforment la débouchure.



Mise en bande

Définition

L'étude de la mise en bande consiste à rechercher la disposition des pièces dans la bande donnant le minimum de déchets.

Les pièces sont obtenues à partir:

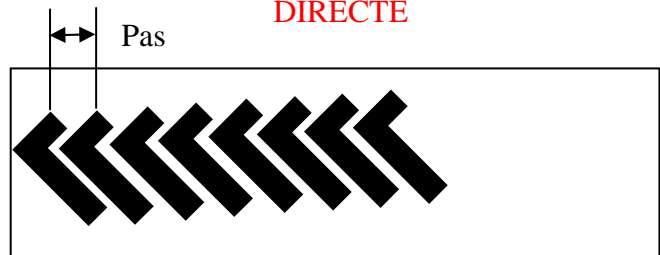
- d'une bande
- d'un rouleau
- d'une feuille

La mise en bande peut être:

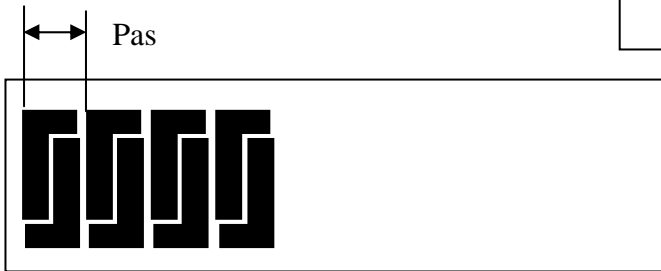
- directe
- imbriquée
- à la retourne



DIRECTE



IMBRIQUEE



A LA RETOURNE

Définition du pas

Le pas correspond à la distance sur la bande qui sépare deux opérations de découpage. Pour un même nombre de pièce. Plus le pas est grand, plus la consommation de tôle est importante. Il s'avère donc important d'optimiser la mise en bande, afin de réduire au minimum les pertes de matière.

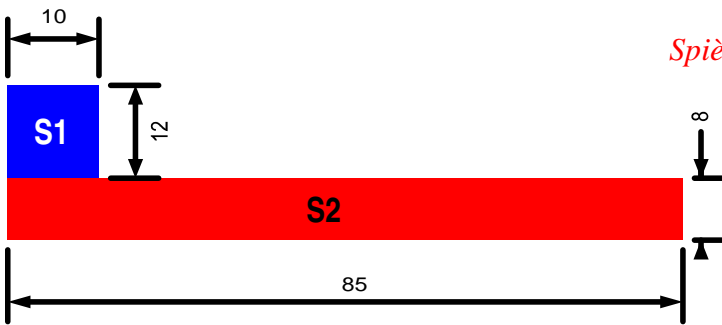
Définition du pourcentage de déchet

La qualification d'un choix de mise en bande est généralement réalisée au travers du calcul de pourcentage de déchet. Pratiquement, il s'agit d'évaluer le rapport entre la surface de déchet et la surface totale de tôle utilisée pour réaliser la pièce.

Application à l'étude de la pièce suivante



Détermination de la surface de la pièce



$$\begin{aligned}
 \text{Spiece} &= S1 + S2 \\
 &= 10 \times 12 + 8 \times 85 = 800 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Déterminons le pourcentage de déchets dans le cas d'une mise en bande directe.

Déterminons le pourcentage de déchets dans le cas d'une mise en bande directe.
 Il est nécessaire de déterminer la surface de tôle utiliser pour produire une pièce.

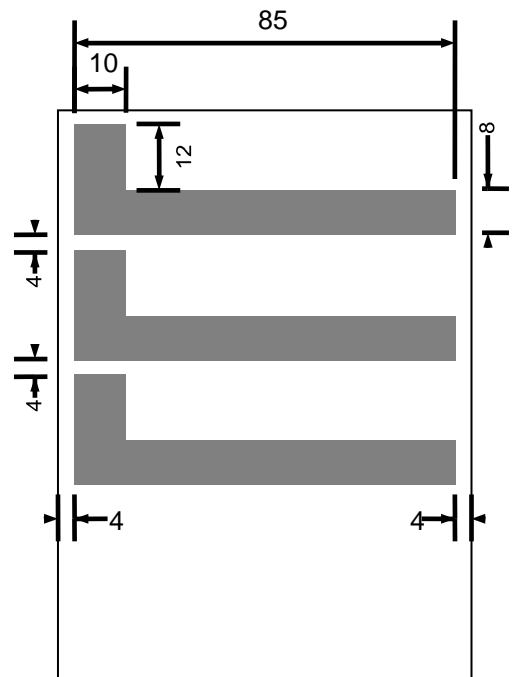
$$\begin{aligned}
 \text{Stole} &= (4+12+8) \times (4+85+4) \\
 &= 2232 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Le surface de déchets vaut donc

$$\text{Sdechet} = \text{Stole} - \text{Spiece} = 2232 - 800 = 1432 \text{ mm}$$

Le pourcentage de déchets vaut:

$$\begin{aligned}
 \% \text{dechet} &= \text{Sdechet} / \text{S tole} \times 100 \\
 &= 1432 / 2232 \times 100 \\
 &= 64 \%
 \end{aligned}$$



Déterminons le pourcentage de déchets dans le cas d'une mise en bande à la retourne.

Calcul pour réaliser pour la production de deux pièces.

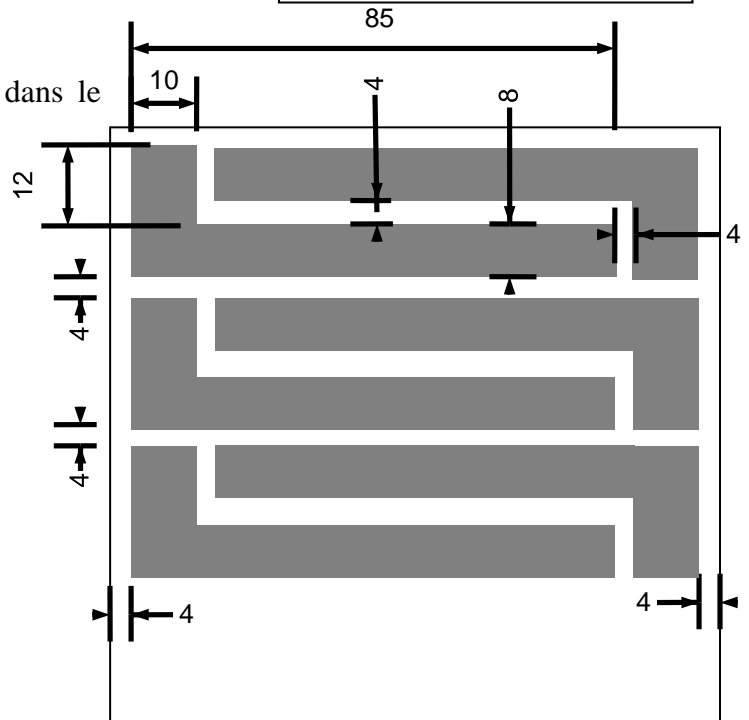
$$\begin{aligned}
 \text{Stole} &= (4+12+8) \times (4+85+4+10+4) \\
 &= 2568 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Le surface de déchets vaut donc

$$\begin{aligned}
 \text{Sdechet} &= \text{Stole} - \text{Spiece} = 2568 - 1600 \\
 &= 968 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Le pourcentage de déchets vaut:

$$\begin{aligned}
 \% \text{dechet} &= \text{Sdechet} / \text{S tole} \times 100 \\
 &= 968 / 2568 \times 100 \\
 &= 37,8 \%
 \end{aligned}$$



Dispositifs de contrôle d'avance de la bande

Objectif

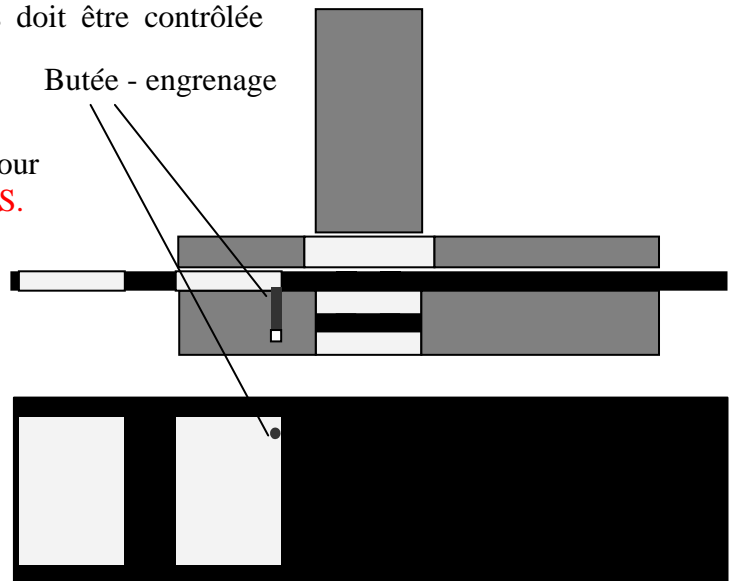
L'évolution de la bande entre les outils doit être contrôlée pour:

- Perdre le **MINIMUM DE MATIERE** (chute) entre deux coups de presse.
- Positionner la bande sous l'outil pour **ASSURER LA PRECISION DES PIECES.**

- Deux solutions techniques:
- Les butées ou engrenages
 - Les couteaux

Butées ou engrenages

Ils sont principalement employés dans le cas d'une **ALIMENTATION MANUELLE** de la presse et pour des outils simples. Chaque coup de la presse, la bande est **DEPLACÉE ET ACCROCHÉE** à l'engrenage par l'ajour précédent.



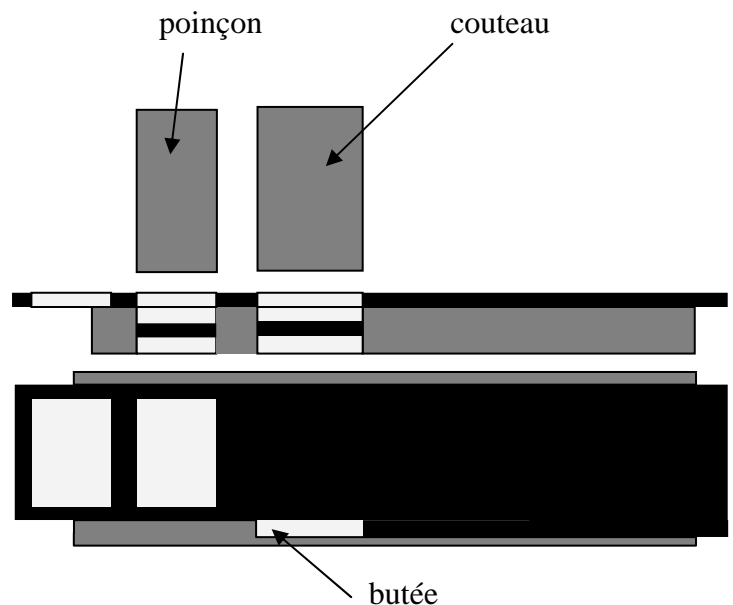
Le déplacement de la bande d'un ajour à l'autre correspond au pas.

L'engrenage ou butée peut être réalisée soit :

- une plaquette vissée ou goupillée
- une simple goupille cylindrique
- une butée eclispable (axe sur ressort).

Couteau

Il remplace l'engrenage dans les outils à suivre. Le **COUTEAU EST UN POINÇON** dont la longueur est égale au pas. Sa largeur est d'environ 3 mm. A chaque coups de presse, le couteau détache de la bande, une longueur de la valeur du pas. Il suffit ensuite de déplacer la bande jusqu'à la **BUTÉE CONTRE LE GUIDE.**



Le couteau ne travaillant que d'un coté les risques et de grippage de coincement sont plus importants. Il convient donc de n'utiliser cette technique que pour les pièces de faible épaisseur: 2 mm maxi (limitation des efforts).

Afin d'augmenter la longévité de l'outillage, le butée est parfois remplacée avantageusement par un grain (pièce rapportée) en acier trempé. On réduit ainsi l'usure du guide.

Classification des outils de découpe

Outil simple non guidé

Le poinçon est uniquement guidé par le coulisseau de la presse.

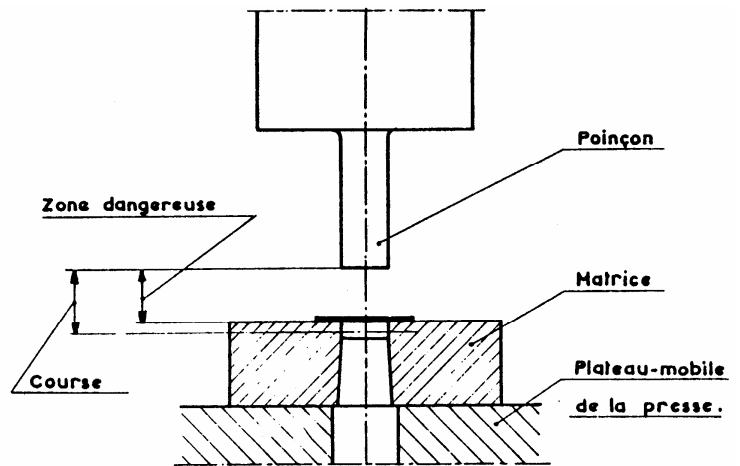
Cela induit donc :

- une précision médiocre,
- un travail dangereux
- et un fort risque d'adhérence de la matière au poinçon lors de la remontée.

Emploi : Découpage dans des chutes de formes irrégulières, variées, ou dans des pièces non planes, ou petites séries

Avantages : coût de l'outillage réduit, maintenance aisée ...

Inconvénients : précision faible, outil dangereux, adhérence de la matière au poinçon à sa remontée, risque de flambage ou de casse du poinçon, ne permet pas découpage et poinçonnage, flan non maintenu ...



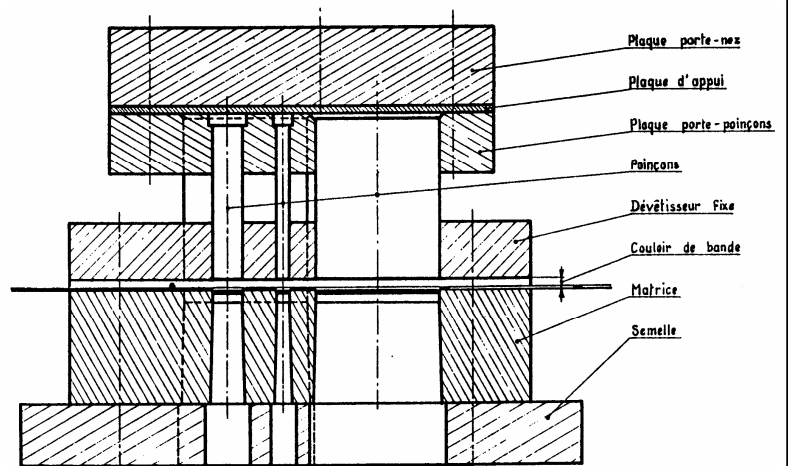
Outil à dévêtisseur fixe

Ce type d'outil est aussi appelé outil noyé, outil à contre-plaque ou encore outil parisien.

Le dévêtisseur fixé à la matrice, sert de guide à la partie travaillante des poinçons et s'oppose au flambage des poinçons de faibles dimensions. Un engreneur ou un couteau assure le contrôle de l'avance de la bande à chaque coup de presse.

Avantages : coût de l'outillage réduit, maintenance aisée, pas de risque de flambage ou de casse du poinçon, flan maintenu, bonne précision, utilisé pour des tôles >1mm ...

Inconvénients : ne permet que découpage de flan...



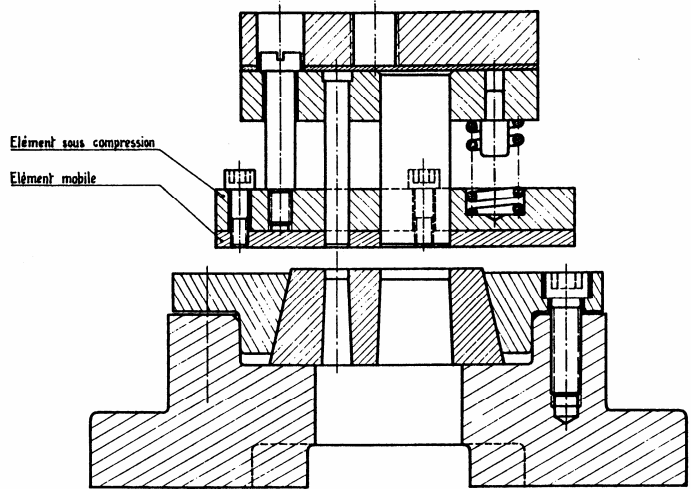
Outil à dévêtisseur élastique

Le dévêtisseur élastique assure le serrage de la bande pendant l'opération de découpe et pendant l'extraction des poinçons hors de la tôle.

Il est intéressant pour les tôles de faibles épaisseurs.

Avantages : coût de l'outillage réduit, maintenance aisée, pas d'adhérence de la matière au poinçon à sa remontée, flan maintenu, intéressant pour les tôles <1mm ...

Inconvénients : précision faible, risque de flambage ou de casse du poinçon, ne permet pas découpage et poinçonnage...

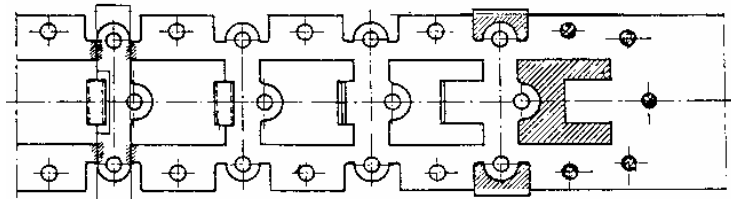


Outil progressif

Il permet d'effectuer simultanément plusieurs opérations ; poinçonnage, découpage, cambrage, etc ...

La pièce est obtenue en 2 temps

- poinçonnage du trou, puis avance de la bande,
- découpage du flan (détachement de la pièce de la bande), et poinçonnage du trou de la pièce suivante, etc ...



Avantages : outil pour moyenne et grande série, cadences de production élevée, bonne précision, utilisé pour des tôles <1mm, permet d'obtenir des formes complexes ainsi que toute sorte d'opération (telles que : emboutissage, pliage, soyage ...) ...

Inconvénients : coût de l'outillage élevé, maintenance délicate et onéreuse, ...

Outil Suisse

L'outil suisse **DECOUPE ET POINÇONNE** la pièce en même temps. Le transfert d'un poste à l'autre est supprimé, n'altérant plus la précision.

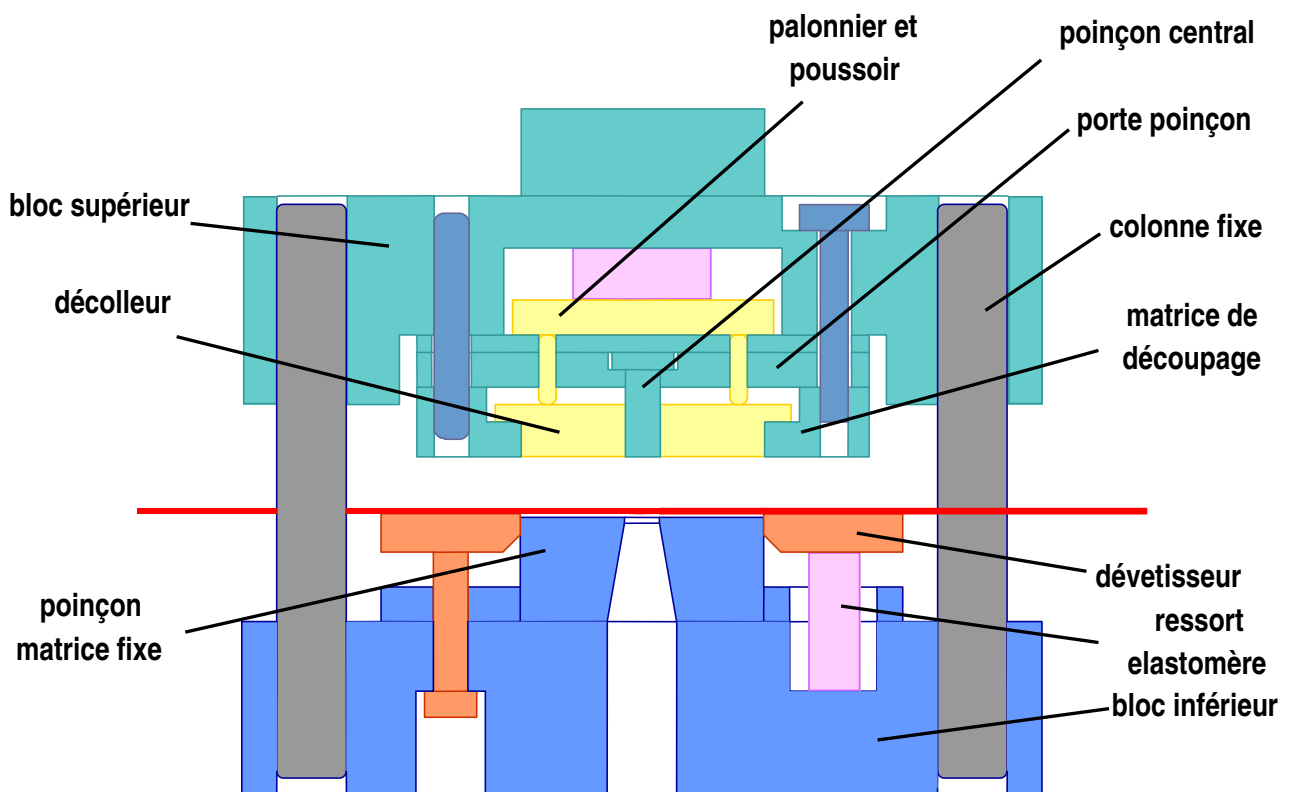
C'est un outil à dévettiseur inversé. Le poinçon est sur la partie inférieure et la matrice sur la partie supérieure.

L'imprécision de **L'AVANCE MANUELLE** de la bande n'affecte pas la pièce.

Les pièces ont la précision de l'outillage.

Avantages : outil pour moyenne et grande série, très grande précision entre les formes intérieures et extérieures, utilisé pour les tôles minces ...

Inconvénients : cadence de production moyenne, coût de l'outillage élevé, maintenance délicate et onéreuse, ...



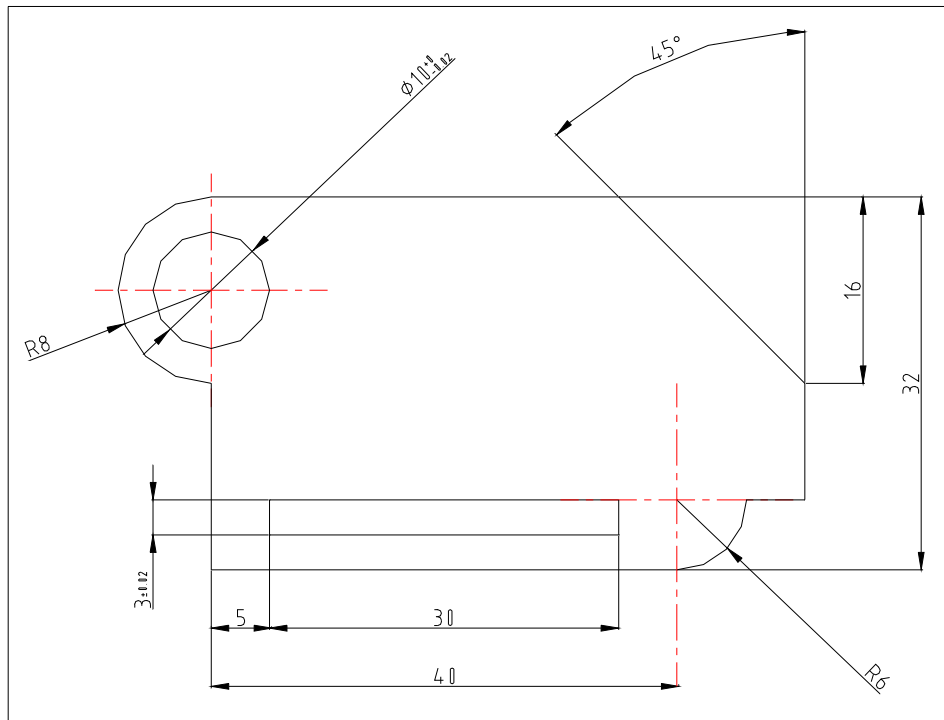
Travaux Dirigé

Présentation

Soit la pièce suivante à obtenir par découpage et poinçonnage.

Matière : laiton recuit épaisseur 0,3 mm **Tolérance générale : $\pm 0,1$ sauf indiqué**

Faible bavure sur les poinçonnages, Indifférent sur les parties extérieures.



Détermination des jeux de découpage

- 1 – Déterminer les dimensions du poinçon cylindrique et de la matrice correspondante.
- 2 – Déterminer les dimensions du poinçon prismatique et de la matrice correspondante.
- 3 – Déterminer les dimensions du poinçon permettant l'obtention de la cote de 32 mm et de la matrice correspondante.

Détermination des efforts de découpage

- 1 – Déterminer le périmètre découpé ainsi que les périmètres poinçonnés.
- 2 – Déterminer l'effort principal de découpage, l'effort de dévêtissage et l'effort d'éjection.
- 3 – Déterminer l'effort total de découpage.

Choix de mise en bande

- 1 – Proposer une mise en bande limitant les pertes de matière.
- 2 – Déterminer le taux de chute correspondant à cette mise en bande.