

**SAE 2.01**

-

**Spécification des processus  
d'élaboration d'une pièce**

N'guessan Frederic Pierre DEPRI

Laura GUTOWSKI

Elvis LABELLE

Clement WALLERICH

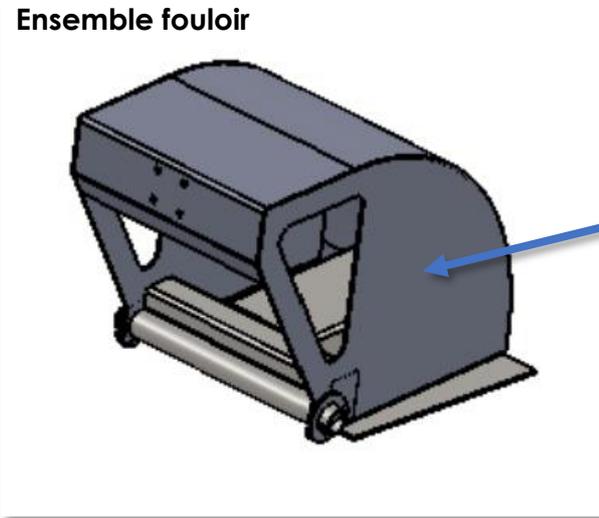
# Sommaire

<b>INTRODUCTION</b>	<b>p 1</b>
<b>1 - CALCULE DE LA LONGUEUR DE DECOUPE</b>	<b>p 2</b>
<b>2 - DETERMINATION DU COUT MATIERE POUR CHAQUE PROCEDE</b>	<b>p 7</b>
A - Calcul de l'aire de la pièce	
B - Besoin en matière pour la découpe plasma	
C - Besoin en matière pour le poinçonnage à commande numérique	
<b>3 - PROCEDE DE DECOUPAGE LE PLUS ECONOMIQUE</b>	<b>p 10</b>
A - Prix de revient de la pièce en découpe plasma	
B - Prix de revient de la pièce pour le poinçonnage	
C - Comparatif entre les 2 solutions	
<b>4 - CONTRAT DE PHASE DE PLIAGE</b>	<b>p 14</b>
<b>5 - PLANNING DES PHASES DU SOUS-ENSEMBLE 600 - FOULOIR</b>	<b>p 16</b>
<b>CONCLUSION</b>	<b>p 17</b>

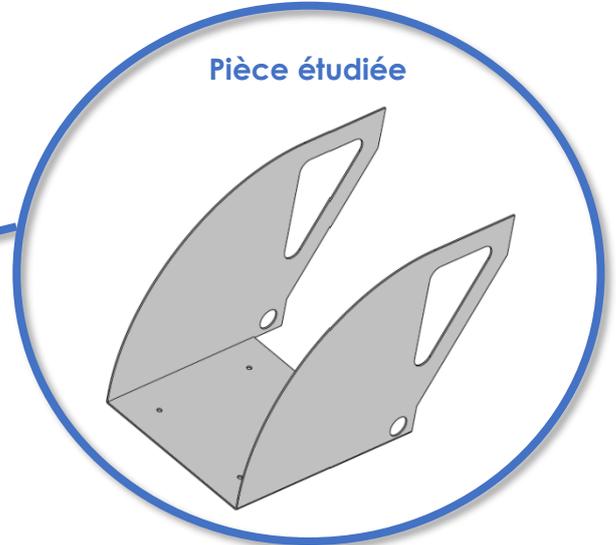
## INTRODUCTION

L'objectif est d'effectuer une étude comparative de coût entre une poinçonneuse / découpeuse CN et une découpe plasma. La pièce étudiée appartient à l'ensemble fouloir et sera réalisée en 500 exemplaires.

### Ensemble fouloir



### Pièce étudiée



### Poinçonneuse CN

Le poinçonnage consiste à perforer un matériau par cisailage grâce à un poinçon et une matrice. La tôle est placée entre le poinçon et la matrice. Le poinçon descend dans la matrice en perçant la tôle par compression. Le poinçonnage permet donc d'effectuer des trous de formes complexes, en fonction de la forme de poinçon choisies.

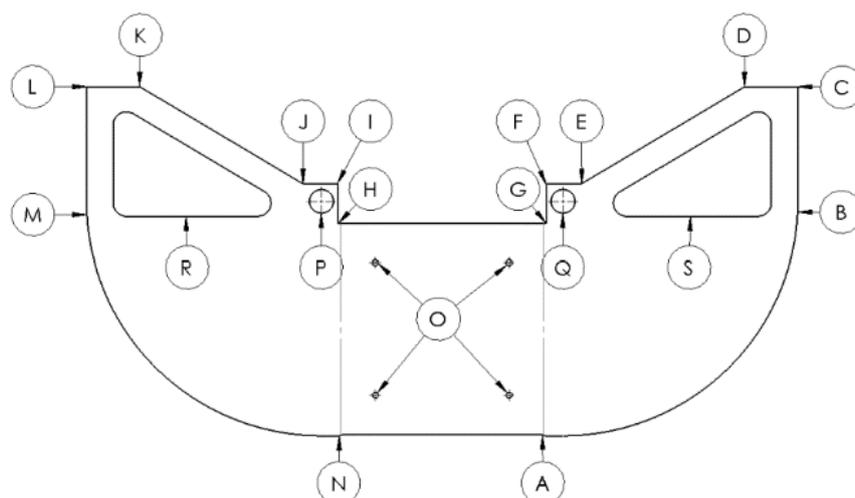


### Découpe plasma

La découpe au plasma est un processus qui utilise un jet à haute vitesse de gaz ionisé qui est délivré par un orifice étranglé. Le gaz ionisé à haute vitesse, c'est-à-dire le plasma, conduit l'électricité de la torche du coupeur à plasma vers la pièce à usiner. Le plasma chauffe la pièce et fait fondre le matériau. Le courant de gaz ionisé à grande vitesse souffle mécaniquement le métal fondu, coupant le matériau.

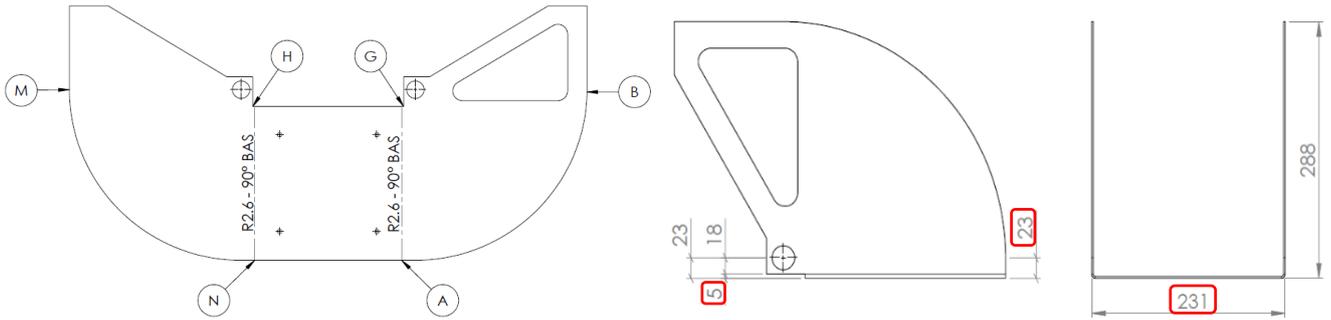


# 1- CALCULE DE LA LONGUEUR DE DECOUPE

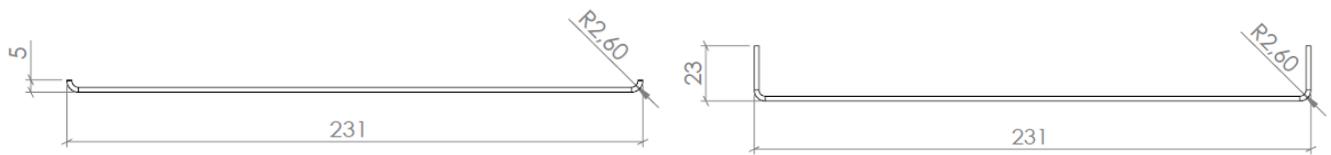


Longueurs	Détails des calculs	Résultats (en millimètres)
A à B : Périmètre	Voir page suivante	<b>437,221</b>
B à C : Partie droite	Lecture directe sur le plan	<b>130</b>
C à D : Partie droite	Lecture directe sur le plan	<b>60</b>
D à E : Partie droite	Calcul avec Pythagore : $L = \sqrt{(130 - 20)^2 + (265 + 18 - 40 - 60)^2}$ $L = \sqrt{45\,589} \quad L = 213,516$	<b>213,5158</b>
E à F : Partie droite	Lecture directe sur le plan	<b>40</b>
F à G : Partie droite	285 - 239	<b>46</b>
G à H : Partie droite	Voir page suivante	<b>232,84</b>
H à I : Partie droite	= FG	<b>46</b>
I à J : Partie droite	Lecture directe sur le plan	<b>40</b>
J à K : Partie droite	= DE	<b>213,5158</b>
K à L : Partie droite	Lecture directe sur le plan	<b>60</b>
L à M : Partie droite	Lecture directe sur le plan	<b>130</b>
M à N : Périmètre	Voir page suivante	<b>437,221</b>
N à A : Partie droite	Voir page suivante	<b>226,92</b>
O : Périmètre Nb : 4	$P = (\varnothing \times \pi) \times 4 = (6,6 \times \pi) \times 4$	<b>82,938</b>
P : Périmètre	$P = \varnothing \times \pi = 27 \times \pi$	<b>84,823</b>
Q : Périmètre	Q = P	<b>84,823</b>
R : Périmètre totale	Voir page suivante	<b>501,349</b>
S : Périmètre totale	Voir page suivante	<b>501,349</b>
Longueur totale pour 1 élément :	$L = \sum (\text{longueurs précédemment calculée})$	<b>3 568,5156</b>
Longueur totale pour la série	500 x 3 568,5156	<b>1 784 257,8 mm</b> <b>1784,26 m</b>

## Détermination des longueurs au niveau des plis :



Pour déterminer les longueurs de HG, NA, MN et AB il faut au préalable étudier les parties suivantes :



## Détermination de la longueur développée

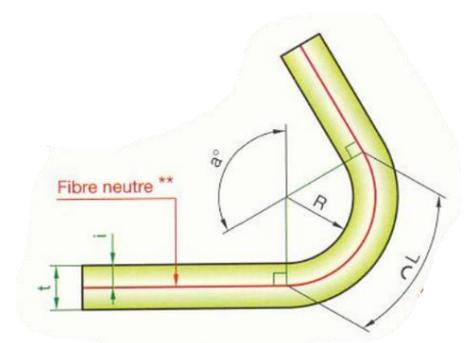
$$L = \frac{2 \pi (R+i) \times \alpha^\circ}{360^\circ}$$

Avec  $R = 2,6^\circ$   
 $\alpha = 90^\circ$   
 $i \approx 0,33 \times t$  (car  $R \approx t$ )

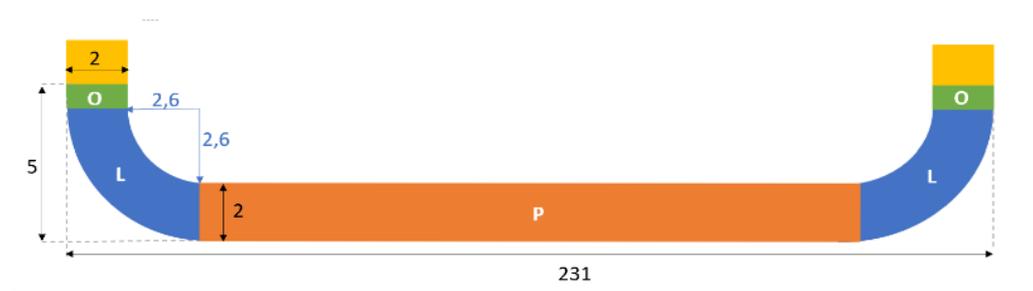
$$i = 0,66$$

$$L = \frac{2 \pi (2,6+0,66) \times 90}{360^\circ}$$

$$L = 5,12 \text{ mm}$$



## Calcul de HG



Longueur P :  $P = 231 - 2 \times (2 + 2,6)$

$$P = 221,8 \text{ mm}$$

Longueur O :  $O = 5 - (2 + 2,6)$

$$O = 0,4 \text{ mm}$$

Longueur totale :  $P + 2L + 2O = 221,8 + 2 \times 5,12 + 2 \times 0,4$

$$MN = 232,84 \text{ mm}$$

## Calcul de NA

$$P + 2 \times (L/2) = 221,8 + 5,12$$

$$NA = 226,92 \text{ mm}$$

## Calcul de MN et AB

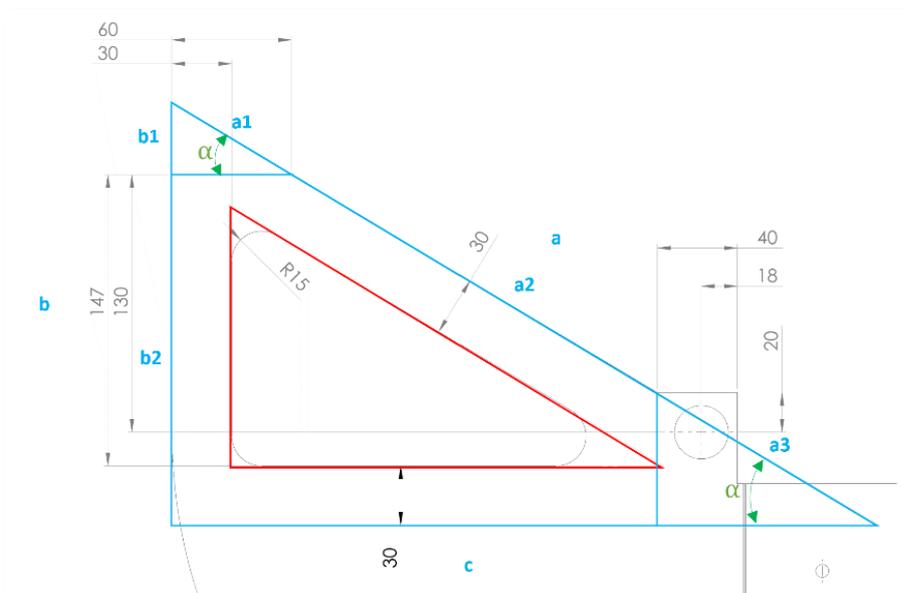
Périmètre de l'arc de cercle :  $(R \times \pi) / 2$        $(265 \times \pi) / 2$        $P_{arc\ cerce} = 416,261 \text{ mm}$

Périmètre total :  $416,261 + 18 + (L/2) + 0$       **MN = AB = 437,221 mm**

## Calcul du périmètre de R et de S

Méthode :

Pour déterminer les dimensions du triangle rouge, la méthode consiste à déterminer les dimensions du triangle bleu puis, en utilisant les propriétés de l'homothétie, en déduire les dimensions du triangle rouge.



### Calcul de l'angle:

$$\tan \alpha = \frac{130 - 20}{265 + 18 - 40 - 60}$$

$$\alpha = 0,60 \text{ rad}$$

### Calcul de a :

Calcul de a1 :  $\cos \alpha = \frac{60}{a1}$        $a1 = \frac{60}{\cos 0,54}$       a1 = 70 mm

Calcul de a2 :  $\sin \alpha = \frac{110}{a2}$        $a2 = \frac{110}{\sin 0,54}$       a2 = 213,5 mm

Calcul de a3 :  $\sin \alpha = \frac{110 + 30 + 147 - 130 + 20}{a3}$        $a3 = \frac{67}{\sin 0,54}$       a3 = 130 mm

Calcul de a :  $a = a1 + a2 + a3$        $a = 70 + 213,5 + 130$       **a = 413,5 mm**

### Calcul de b

Calcul de b1 :  $\tan \alpha = \frac{b1}{60}$        $b1 = 60 \times \tan 0,54$       b1 = 36 mm

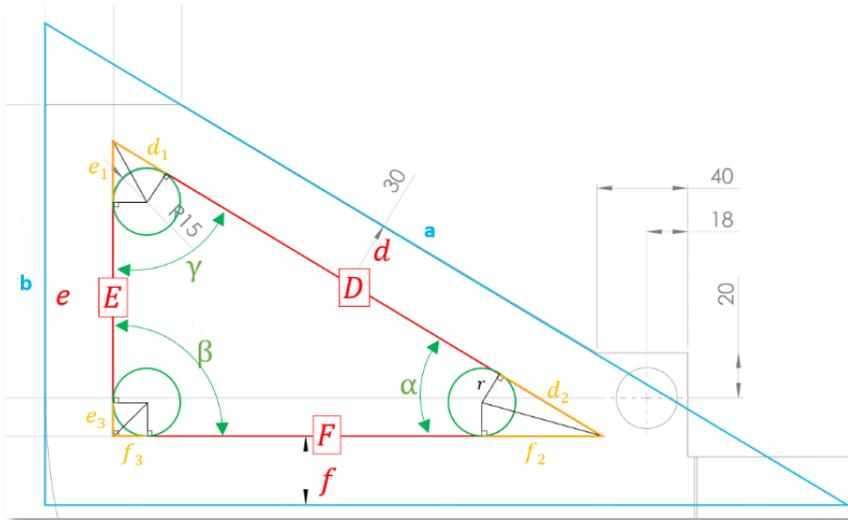
Calcul de b :  $b = b1 + 147 + 30$       **b = 213 mm**

### Calcul de c (Pythagore)

$a^2 = b^2 + c^2$        $c = \sqrt{a^2 - b^2}$        $c = \sqrt{413,5^2 - 213^2}$       **c = 354,4 mm**



**Détermination de la distance entre les arcs de cercle :**



$\alpha = 0,60 \text{ rad}$        $\alpha = 31^\circ$   
 $\beta = 90^\circ$   
 $\gamma = 180 - 90 - 31$        $\gamma = 59^\circ$

Calcul de  $d_1$  et  $e_1$  :       $\tan(59/2) = \frac{r}{d_1}$        $d_1 = \frac{15}{\tan(59/2)}$        **$d_1 = e_1 = 26,51 \text{ mm}$**

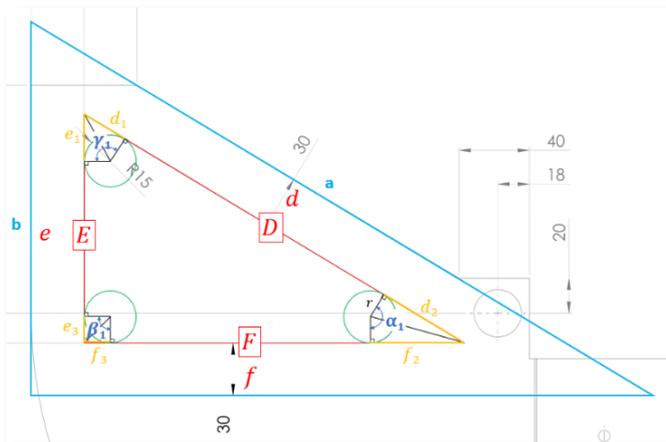
Calcul de  $e_3$  et  $f_3$  :       $\tan(90/2) = \frac{r}{e_3}$        $e_3 = \frac{15}{\tan(90/2)}$        **$e_3 = f_3 = 15 \text{ mm}$**

Calcul de  $d_2$  et  $f_2$  :       $\tan(31/2) = \frac{r}{d_2}$        $d_2 = \frac{15}{\tan(31/2)}$        **$d_2 = f_2 = 54,09 \text{ mm}$**

Calcul des dimensions de D,E et F :

$D = d - d_1 - d_2$        $D = 252,235 - 26,51 - 54,09$        **$D = 171,635 \text{ mm}$**   
 $E = e - e_1 - e_3$        $E = 129,93 - 26,51 - 15$        **$E = 88,42 \text{ mm}$**   
 $F = f - f_2 - f_3$        $F = 216,184 - 15 - 54,09$        **$F = 147,094 \text{ mm}$**

**Calcul des arcs de cercles :**



Calcul de  $\alpha_1$  :       $\tan\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) = \frac{f_2}{r} = \frac{54,09}{15} = 74,5$   
 $\alpha_1 = 149^\circ$        $\alpha_1 = 2,6 \text{ rad}$

Calcul de  $\gamma_1$  :       $\tan\left(\frac{\gamma_1}{2}\right) = \frac{f_3}{r} = \frac{15}{15} = 45$   
 $\gamma_1 = 90^\circ$        $\gamma_1 = 1,57 \text{ rad}$

Calcul de  $\beta_1$  :       $\tan\left(\frac{\beta_1}{2}\right) = \frac{d_1}{r} = \frac{26,51}{15} = 60,5$   
 $\beta_1 = 121^\circ$        $\beta_1 = 2,11 \text{ rad}$

Somme des périmètres des arcs de cercle :

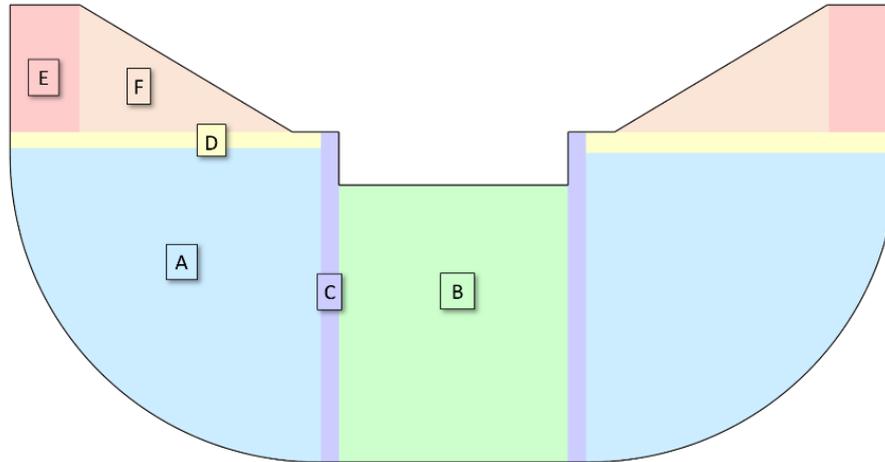
$P = 2,6 \times 15 + 1,57 \times 15 + 2,11 \times 15$   
 **$P = 94,247 \text{ mm}$**

**Périmètre totale de R et S :**

$P = 94,247 + 171,635 + 88,42 + 147,094$   
 $P = 501,349 \text{ mm}$

## 2 - DETERMINATION DU COÛT MATIÈRE POUR CHAQUE PROCÉDÉ

### A - Calcul de l'aire de la pièce dépliée :



	Calcul	Résultat (en mm <sup>2</sup> )
A	$(\pi \times r^2) / 4 = (\pi \times 265^2) / 4$	55 154,586
B	239 x 232,84	55 648,76
C	285 x 18	5 130
D	265 x 20	5 300
E	60 x 110	6 600
F	183 x 110 / 2	10 065
Aire totale	55648,76 + 2 x (55154,586 + 5130 + 5300 + 6600 + 10065)	220 147,932 mm <sup>2</sup>
		<b>0,22 m<sup>2</sup></b>

L'aire de la pièce servira par la suite à calculer le coefficient d'utilisation pour chacune des solutions pour les comparer. Etant donné que dans toutes les solutions abordées par la suite la surface qui correspond aux trous dans la pièce seront perdu on ne les prend pas en compte.

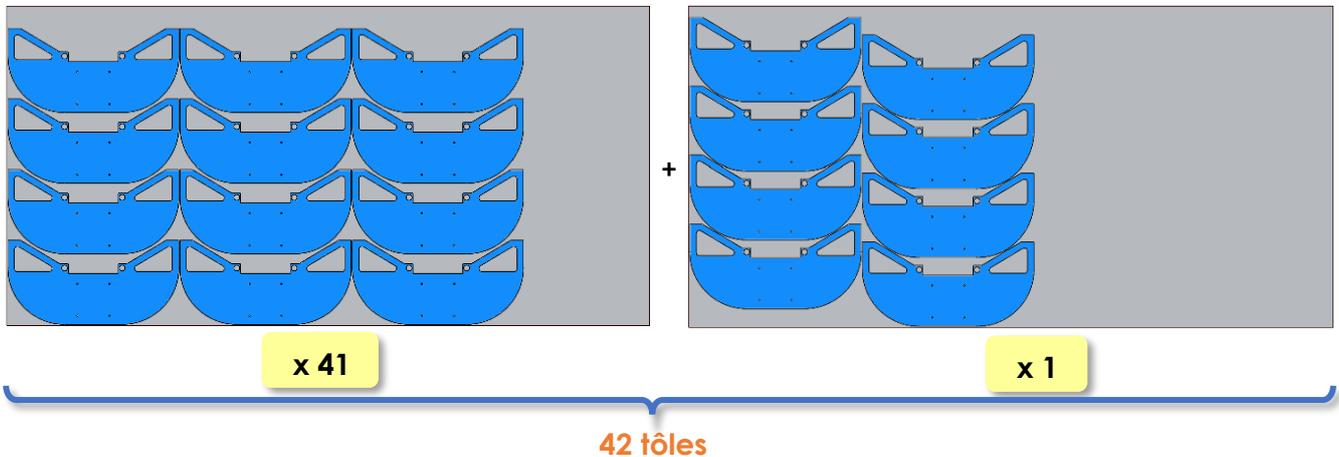
En utilisant Catia on obtient sinon une superficie totale de 192 191,82 mm<sup>2</sup> soit 0,192 m<sup>2</sup>.

## B – Besoin en matière pour la découpe plasma

L'objectif est de déterminer une imbrication de pièces pour réduire au maximum les chutes de matière à partir des données suivantes :

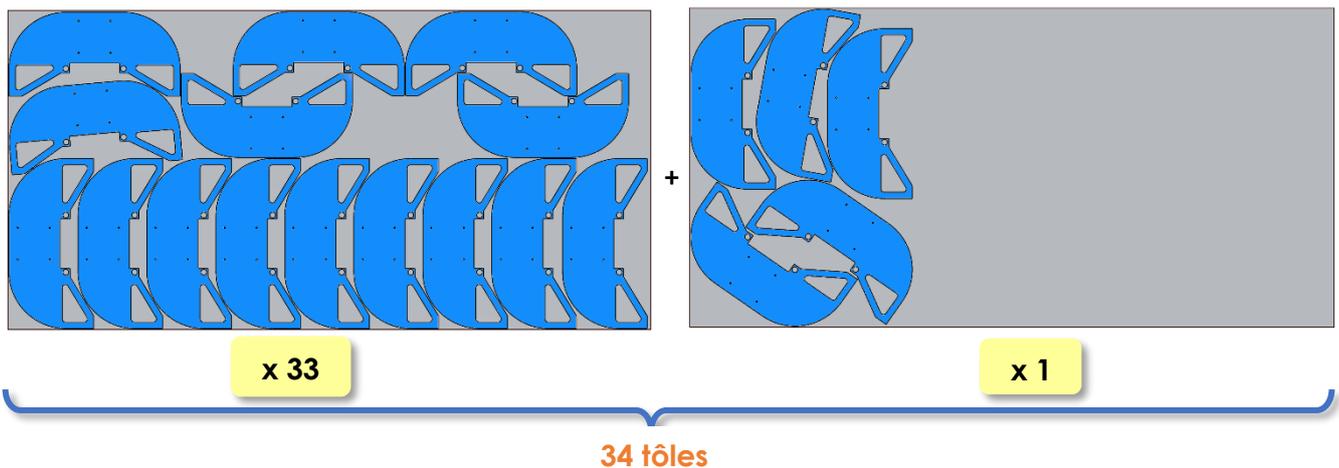
- Tôle utilisée : 3000 mm X 1500 mm
- Perte admise : 5 mm

### Solution 1 : Imbrication sans rotation des pièces :



### Solution 2 : Imbrication avec rotation des pièces :

Imbrication réalisée sur l'application en ligne Nest&Cut : <https://nestandcut.com/fr/>



		Solution 1	Solution 2
<b>Pièce</b>			
	Surface de la pièce	0,22 m <sup>2</sup>	
	Nombre de pièces	500	
	Surface totale	110 m <sup>2</sup>	
<b>Tôle</b>			
	Largeur	1 500 mm	
	Longueur	3 000 mm	
	Surface d'1 tôle	4,5 m <sup>2</sup>	
	Nombre de tôle	42	34
	Surface totale	189 m <sup>2</sup>	153 m <sup>2</sup>
<b>Coefficients d'utilisation</b>			
	Calcul	$\frac{110}{189} \times 100$	$\frac{110}{153} \times 100$
	Resultat	58,2 %	71,9 %

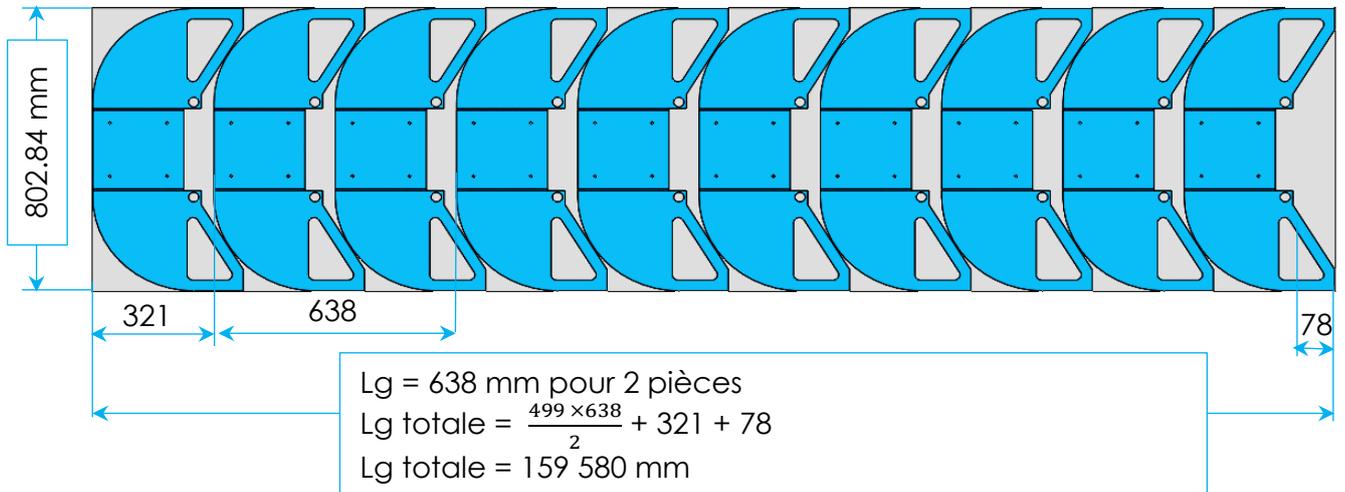
**La solution n°2 est retenue**

## C - Besoin en matière pour le poinçonnage à commande numérique

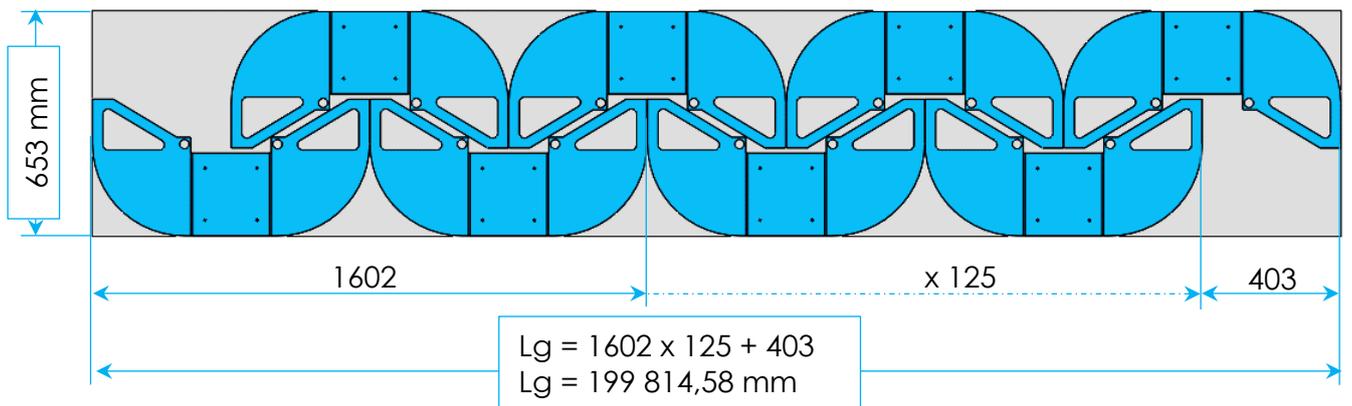
L'objectif est de déterminer une imbrication de pièces pour réduire au maximum les chutes de matière à partir des données suivantes.

- Perte admise : 2 mm

### Solution 1 : Imbrication sans rotation des pièces



### Solution 2 : Imbrication avec rotation des pièces



		Solution 1	Solution 2
<b>Pièce</b>			
	Surface de la pièce	0,22 m <sup>2</sup>	
	Nombre de pièces	500	
	Surface totale	110 m <sup>2</sup>	
<b>Tôle</b>			
	Largeur	802,84 mm	653 mm
	Longueur	159 580 mm	199814,58 mm
	Surface totale	128,1 m <sup>2</sup>	130,5 m <sup>2</sup>
<b>Coefficients d'utilisation</b>			
	Calcul	$\frac{110}{128,1} \times 100$	$\frac{110}{130,5} \times 100$
	Résultat	85,87 %	84,29 %

**La solution n°1 est retenue**

### **Effort de découpe :**

$$F = L \times e \times R_m$$

Avec	Longueur de la surface poinçonnée	:	L = 3 568,5 mm
	Épaisseur de la tôle	:	e = 2 mm
	Résistance mécanique	:	R <sub>m</sub> = 400 N/mm <sup>2</sup> pour de l'acier S235

$$F = 3568,5 \times 2 \times 400$$

$$F = 2\,854\,800 \text{ N}$$

$$F = 2\,854,8 \text{ kN}$$

## **3 - PROCÉDE DE DECOUPAGE LE PLUS ECONOMIQUE**

Pour calculer le prix total de chaque procédé, le cout a été divisé en 2 parties :

- Le cout machine : les tâches qui s'effectuent sur la machine (démarrage machine, réglage du poste, chargement du programme, évacuation des pièces, ...)
- Le cout de la main d'œuvre : les tâches qui se font en dehors du fonctionnement de la machine

## A - Prix de revient de la pièce en découpe plasma

Temps de découpe	Calcul	Temps	
		Machine	MO
Lancement de la fabrication			
Démarrage machine (allumage + amorçage)	2 ch x 34 tôles	68 ch	
Montage des consommables	Donnée du tableau : 4 ch	4 ch	
Chargement programme	Donnée du tableau : 10 ch	10 ch	
Réglage de poste	Donnée du tableau : 2 ch	2 ch	
Mise en place et réglage	6 ch x 34 tôles	204 ch	
Découpe			
Temps de coupe	Tps = $178\,425,78 / 300 = 594,75$ min Tps = $594,75 / 60 = 9,9125$ h	991,25 ch	
Vitesse de coupe	V = 300 cm/min		
Longueur de coupe	Périmètre de la pièce = 3568,52 mm Lg = 500 x 3568,52 mm Lg = 178 425,78 cm		
Fin de fabrication			
Evacuation des pièces	Tps = 20 ch x 34 tôles	680 ch	
Ebavurage des pièces	Lg totale de découpe = 1784,26 m Tps = 2 ch x 1784,26		3 568,52 ch
<b>Total</b>		1 959,25 ch <b>19,59 h</b>	3568,52 ch <b>35,69 h</b>

Coût de fabrication	Calcul	Résultat
Coût machine	Coût horaire : 135 €      135 x 19,59	2644,65 €
Coût main d'œuvre	Coût horaire : 27 €      27 x 35,69	963,63 €
Coût total		<b>3 608,28 €</b>

Coût matière	Calcul	Résultat
Surface d'une tôle	S = 1,5 m x 3 m	4,5 m <sup>2</sup>
Nombre de tôles		34
Prix au m <sup>2</sup>		17,27 €
Coût matière	4,5 x 34 x 17,27	<b>2 642,31 €</b>

Prix de revient : PR = 3 608,28 + 2 642,31

**PR = 6 250,59 €**

## B - Prix de revient de la pièce en poinçonnage numérique :

Temps de découpe	Calcul	Temps	
		Machine	MO
Lancement de la fabrication			
Démarrage machine	Donnée du tableau : 1 ch	1 ch	
Chargement programme	Donnée du tableau : 10 ch	10 ch	
Montage des poinçons	Donnée du tableau : 25 ch	25 ch	
Mise en place et réglage d'une bande	Donnée du tableau : 10 ch	10 ch	
Découpe			
Temps de coupe rectiligne	Tps = $114\,796 / 500 = 229$ min Tps = $229 / 60 = 3,83$ h Tps = 383 ch	383 ch	
Longueur de coupe rectiligne	Lg = $500 \times 2\,295,86$ mm Lg = 114 793 cm		
Vitesse de coupe rectiligne	V = 500 cm/min		
Temps de coupe curviligne	Tps = $63\,632,8 / 400 = 159$ min Tps = $159 / 60 = 2,65$ h Tps = 265 ch	265 ch	
Longueur de coupe curviligne	Lg = $500 \times 1\,272,66$ mm Lg = 63 632,8 cm		
Vitesse de coupe curviligne	V = 400 cm/min		
Fin de fabrication			
Evacuations des pièces	500 x 3 ch / pièce	1 500 ch	
Ebavurage des pièces	Lg totale de découpe = 1784,26 m Tps = 2 ch x 1784,26		3568,52 ch
<b>Total</b>		2 194 ch <b>21,94 h</b>	3568,52 ch <b>35,69 h</b>

Coût de fabrication	Calcul	Résultat
Coût machine	Coût horaire : 98 €    98 x 21,94	2 150,12 €
Coût main d'œuvre	Coût horaire : 27 €    27 x 35,69	963,63 €
Coût total		<b>3 113,75 €</b>

Coût matière	Calcul	Résultat
Surface d'une tôle		131 m <sup>2</sup>
Nombre de tôles	1 bande de feuillard	1
Prix au m <sup>2</sup>		17,27 €
Coût matière	4,5 x 34 x 17,27	<b>2 262,37 €</b>

Prix de revient : PR = 3 113,75 + 2 262,37

**PR = 5 376,12 €**

### C – Comparatif entre les 2 procédés :

Prix de revient pour 500 pièces :

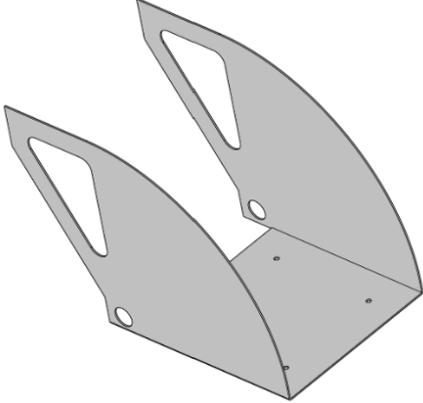
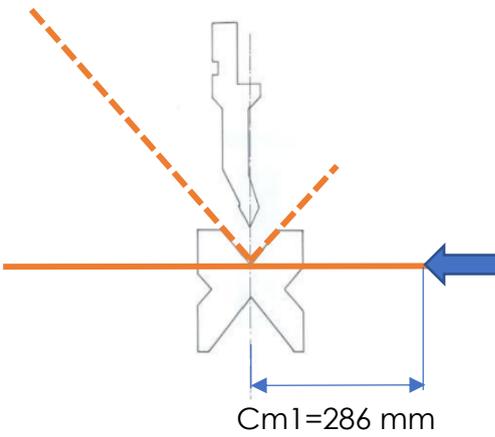
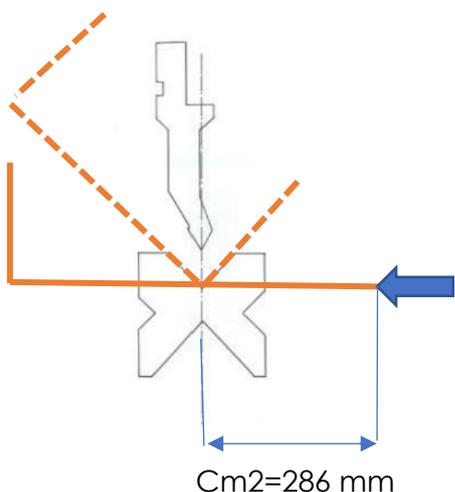
- Découpe plasma : 6 250,59 €
- Poinçonnage : 5 376,12 €

Le poinçonnage est le procédé le plus intéressant pour réaliser ces pièces avec une quantité de 500 pièces car :

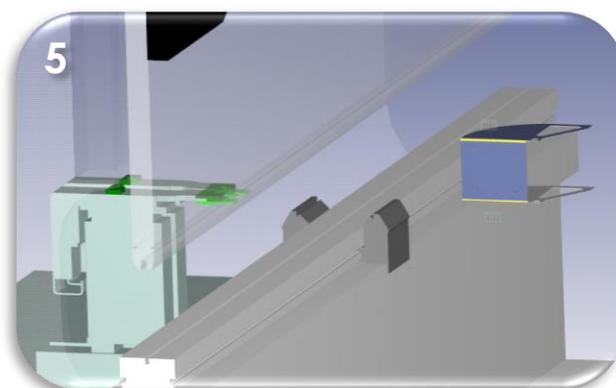
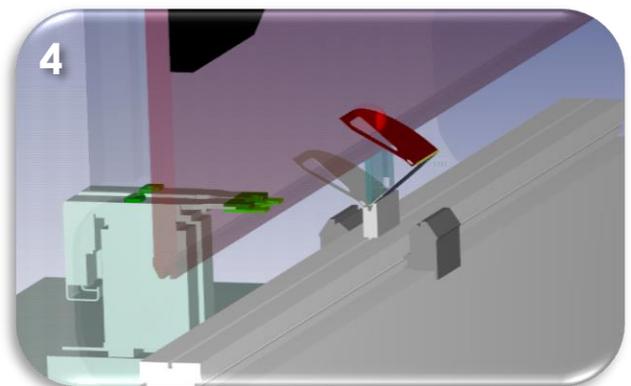
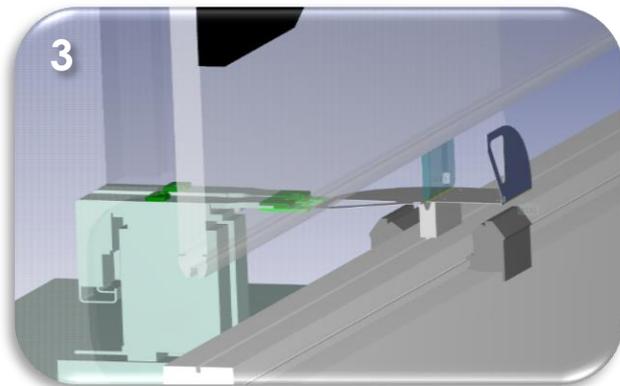
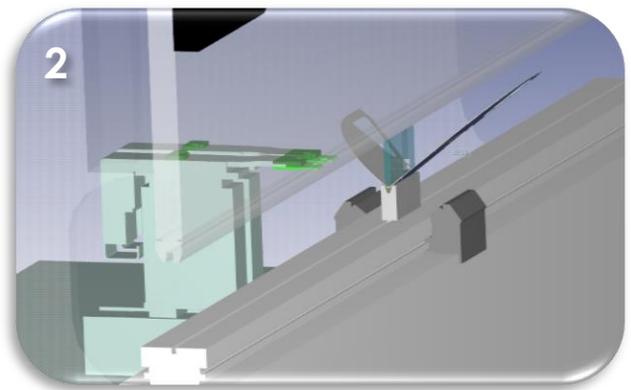
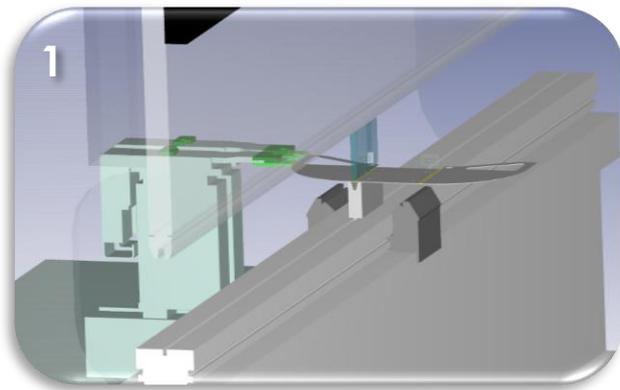
- le format de la matière est déjà optimisé alors que pour le plasma on utilise un format déjà définie
- les vitesses de coupe sont plus rapides en poinçonnage
- un coût horaires machine plus faible en poinçonnage

**La solution retenue est le poinçonnage**

## 4 - CONTRAT DE PHASE DE PLIAGE

CONTRAT DE PHASE				
Ensemble : <b>Trémie Briqueticc</b>		Schéma 		
Sous-ensemble : <b>Sous Ensemble 600 Fouloir</b>				
Élément : <b>Flanc</b>				
Repère : <b>601</b>				
Matière : <b>S 235</b>				
Nombre : <b>1</b>				
S/phase	Opération	Croquis	Outillage	Contrôle
500 « Pliage »				
510 « Plis n°1 »	<p><b>Plis n°1 :</b></p> <p>511 « choix outils »</p> <p>512 « réglage machine »</p> <p>513 « contrôle plis »</p>	 <p>Cm1=286 mm</p>	<p>Vé= 16</p> <p>Effort de pliage = 17 x 0,239 = 4,063 kN</p>	<p>CC1= 288 mm</p> <p>Angle de pliage = 90 °</p>
520 « Plis n°1 »	<p><b>Plis n°2 :</b></p> <p>521 « choix outils »</p> <p>522 « réglage machine »</p> <p>523 « contrôle plis »</p>	 <p>Cm2=286 mm</p>	<p>Vé= 16</p> <p>Effort de pliage = 17 x 0,239 = 4,063 kN</p>	<p>CC2= 288 mm</p> <p>Angle de pliage= 90 °</p>

**Simulation réalisée par un logiciel de programmation hors ligne (PHL) sur une plieuse LVD**



Pour l'étape 4, si on utilise un poinçon standard, il y a un fort risque de collision avec l'outillage car ils ne sont pas utilisables pour créer un poinçon droit en forme de U ou de canal. Cependant, il est possible d'utiliser des poinçons à col de cygne qui sont généralement utilisés avec la forme voulue pour ne pas être en contact avec le rebord final de la pièce (forme interne du rayon).



Poinçon standard



Poinçons à col de cygne

## 5 - PLANNING DES PHASES DU SOUS-ENSEMBLE 600 - FOULOIR

Hors pièces 611 – 612 – 613

Repère		601	602	603	604	605	614
Nombre		1	1	1	1	1	1
Préparation	Traçage			1	1	1	1
	Gabarit						
	Ebavurage						
Débit	Cisaillage			2	2	2	
	Encochage			3			
	Tronçonnage						
	Oxycoupage						
	Sciage						
Usinage	Tournage						
	Perçage					3	
	Fraisage						
	Découpe/Poinçonnage CN	1	1				
	Filetage - Taraudage						
	Plieuse CN	2	3	4	3	4	
	Forgeage						
	Emboutissage						
	Roulage		4				
	Coudage						
	Sertissage						
	Fluotournage						
	Repoussage						
	Laminage						
Assemblage	Rivetage						
	Boulonnage-Vissage						
	Soudage						2
	Collage						
	Emmanchement						
Finition	Redresser						
	Ebavurer/Meuler	3	2				3
	Polissage						
	Peinture						
	Ajustage						
	Contrôle	4	5	5	4	5	4

NB : Les pièces 603-604 et 605 sont réalisées dans ce tableau en cisaillage mais elles pourraient également être réalisées en découpe plasma ou en poinçonnage

## CONCLUSION

Pour choisir le procédé le plus intéressant il est important de bien analyser le besoin au préalable. Les critères pouvant influencer le choix sont :

- les caractéristiques de la pièce. Par exemple certains procédés seront plus intéressants sur des tôles épaisses et d'autres sur des tôles fines
- le nombre de pièces à réaliser : petite, moyenne ou grande séries
- la qualité de la pièce souhaitée