

# TD de technique d'optimisation et plans d'expériences

## 1. Objectifs

L'objectif est de déterminer les paramètres du procédé d'emboutissage pour l'obtention d'une pièce au travers de différentes approches :

- Optimisation par plan d'expériences complet  $2^3$ , simulateur et identification expérimentale du modèle ;
- Optimisation par plans d'expériences fractionnaires  $L_{16}$  et  $L_4$  et simulateur numérique.

Comparaison et bilan sur les 3 approches mises en œuvre.

La finalité est d'appréhender l'intérêt de la mise en œuvre d'un plan d'expériences pour étudier et mettre au point un procédé piloté par plusieurs facteurs :

- Intérêt du plan d'expériences ;
- Intégration de la notion de coût de mise au point d'outillage ;
- Optimisation d'une expérience quantitativement et qualitativement.

## 2. Présentation du procédé d'emboutissage

### 2.1. Principe :

L'emboutissage est un procédé de mise en forme des matériaux métalliques en feuilles minces. Il consiste à donner une forme 3D à une feuille métallique initialement plane. Ce procédé permet d'obtenir des pièces de formes complexes, le plus souvent non développables.

L'outillage est composé d'une matrice, d'un poinçon et d'un serre flan. L'opération consiste à serrer le flan entre le serre flan et la matrice. Puis, le poinçon descend dans la matrice. Ce mouvement entraîne le flan qui épouse la forme du poinçon et de la matrice en se déformant plastiquement.

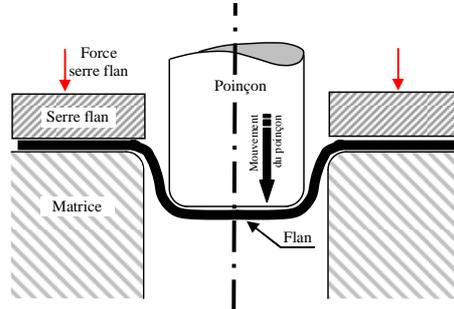


Figure 1 : Plan schématique d'un outillage d'emboutissage.

Il existe deux familles de pièces embouties :

- L'emboutissage de pièce en forme de profilé qui ressemble davantage à des pièces obtenues par pliage. Ce sont par exemple des longerons utilisés dans l'automobile. Ces emboutis présentent de forts retours élastiques.
- L'emboutissage profond concerne principalement des pièces de révolution où le diamètre est faible par rapport à la hauteur de la pièce. La principale difficulté est alors de maîtriser les déformations.

### 2.2. Avantages :

- Cadences de production très élevées (quelques centaines de pièces/heure, pour des pièces de gros volumes (carrosserie automobile), jusqu'à plusieurs milliers de pièces/heure, pour des petites pièces (renforts, capuchons de réservoir...)) ;
- Augmentation des propriétés mécaniques du matériau par l'écrouissage du matériau ;
- Meilleur l'état de surface des pièces embouties que celui des pièces moulées ;

### 2.3. Inconvénients :

- Nécessité de maîtriser l'écoulement du matériau lors de la mise en forme afin de garantir l'intégrité de la pièce (sans déchirure) et d'éviter de forts amincissements de la tôle (risque de rupture de la pièce aux étapes suivantes) ;
- Complexité de conception et de la mise au point de l'outillage ;

De nombreux paramètres influencent le résultat de l'opération comme par exemple :

- Le nombre d'étapes de mise en forme (passes successives pour obtenir la pièce finale),
- La géométrie de l'outillage,
- La pression de serrage du serre flan,
- Les caractéristiques du matériau...

### 2.4. Démarche d'étude industrielle actuelle :

Les différentes techniques utilisées par les industriels pour la réalisation et la mise au point d'une gamme d'emboutissage, sont basées sur leur savoir faire et des règles métiers. La mise au point est faite par des essais successifs directement sur une presse d'emboutissage (méthode essais-erreurs). La phase de mise au point ou de réglage suit la même logique. Cette approche d'essais non structurée est coûteuse (en temps, en usinage et en matière) et sans garantie de réussite.

## 3. Application de la méthode des plans d'expériences

L'objectif du travail est d'être capable de définir l'ensemble des paramètres du procédé (outillage et réglage) pour obtenir une bonne pièce avec un minimal de mise en œuvre.

### 3.1. Définition de la pièce à obtenir :

Le dessin de définition de la pièce est représentée en figure 2.

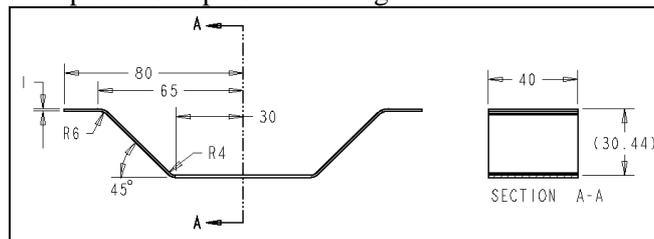


Figure 2 : dessin de définition (partiel) de la pièce à obtenir.

### 3.2. Choix de l'outillage initial et réalisation de l'opération

Nous avons déterminé un outillage initial permettant a priori d'obtenir la pièce souhaitée. La géométrie de l'outillage est celle correspondant aux dimensions conjuguées de la pièce.

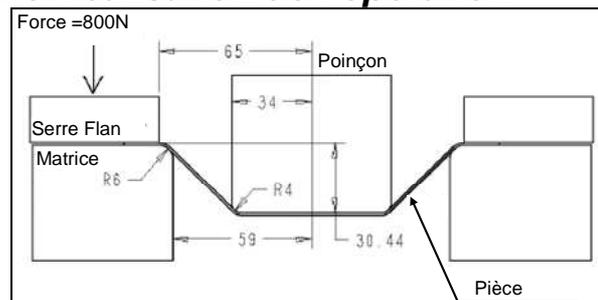


Figure 3 : plan de l'outillage initial

Nous avons réalisé l'outillage initial et embouti des pièces. La figure ci-dessous représente le profil de la pièce obtenue comparé à la géométrie souhaitée (appelée nominal). Voici la forme obtenue :

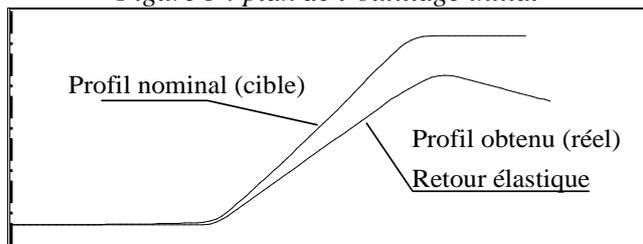


Figure 4 : Profil de la pièce nominale

### 3.3. Définition, paramétrage et type de facteurs

**Pièce**  
Le paramétrage de la pièce est donné en figure 7.

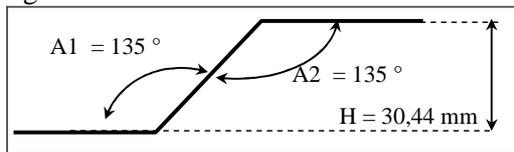


Figure 7 : paramétrage retenu de la pièce à emboutir.

**Outillage**  
Le paramétrage de l'outillage est donné en figure 8. Ces paramètres sont supposés avoir de l'influence sur la géométrie de la pièce. Leurs plages de variations sont listées dans le tableau 1.

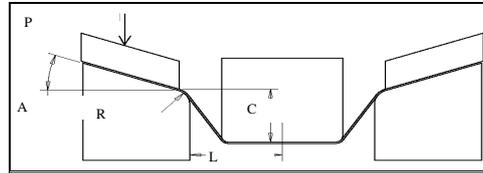


Figure 8 : paramétrage retenu.

| Paramètres          | Notation | Plage de variation |             |
|---------------------|----------|--------------------|-------------|
|                     |          | Niveau mini        | Niveau MAXI |
| Angle matrice       | A (°)    | 0                  | 16          |
| Rayon matrice       | R (mm)   | 6                  | 10          |
| Largeur matrice     | L (mm)   | 57                 | 65          |
| Course du poinçon   | C (mm)   | 30                 | 38          |
| Pression serre flan | P (bars) | 40                 | 80          |
| Effort serre flan   | F (N)    | 500                | 1000        |

Tableau 1 : liste et valeurs des paramètres retenus.

Les facteurs du procédé à régler sont de 2 types :

- « paramètres outillage » : modification et/ou retouche d'outillage ;
- « paramètres presse » : modification des réglages de la presse à emboutir.

Suivant le type de modification adoptée, les coûts et les temps de mise en œuvre sont différents. Ils sont reportés tableau 2.

| Type de réglage          |                     | Coût estimé (€) | Temps estimé (h) |
|--------------------------|---------------------|-----------------|------------------|
| Modification d'outillage | Angle matrice       | 2500 €          | ~ 10 h           |
|                          | Rayon matrice       |                 |                  |
|                          | Largeur matrice     |                 |                  |
| Réglages presse          | Pression de serrage | 700 €           | ~ 2 h            |
|                          | Course poinçon      |                 |                  |

Tableau 2 : Coûts et temps de réglage des paramètres du procédé.

## 4. Déroulement TD

Les objectifs visés sont :

1. Optimiser le procédé d'emboutissage en utilisant un plan d'expériences complet  $2^3$
2. Identifier les modèles polynomiaux correspondant à chaque paramètre de la pièce.
3. Valider les réglages optimaux déterminés.
4. Respecter les contraintes de nombres d'essais maximum (8 + 1).

### 4.1. Travail à effectuer :

Pour atteindre l'objectif fixé, on adoptera la démarche itérative représentée figure 1.

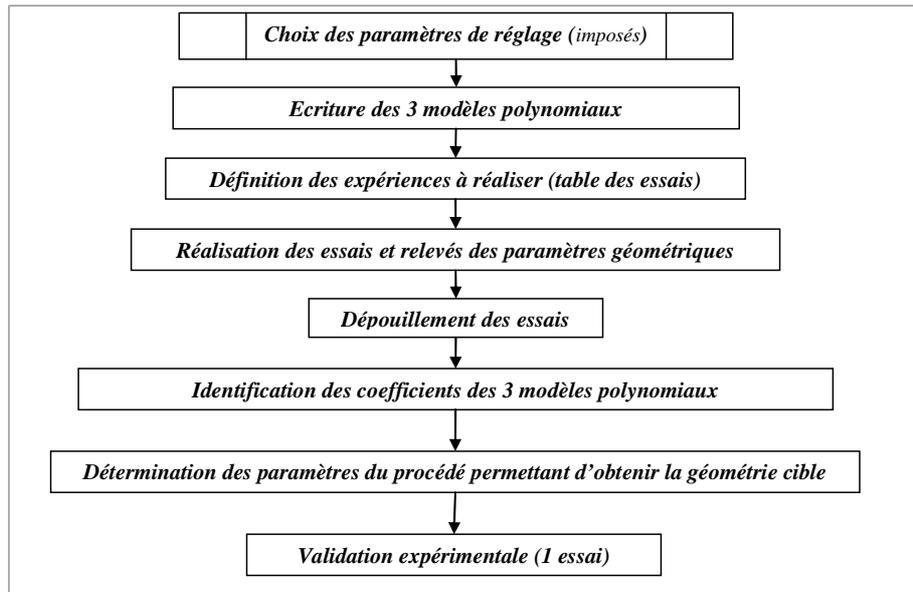


Figure 1 : Organigramme des opérations à effectuer.

#### 4.1.1. Choix des paramètres de réglage :

Un nombre minimum de 3 paramètres de réglage est retenu. Ils sont donnés dans le tableau 1.

| Paramètres retenus | Notation | Plage de variation |             |
|--------------------|----------|--------------------|-------------|
|                    |          | Niveau mini        | Niveau MAXI |
| Largeur matrice    | $L$ (mm) | 57                 | 65          |
| Course du poinçon  | $C$ (mm) | 30                 | 38          |
| Angle matrice      | $A$ (°)  | 0                  | 16          |

Tableau 1 : paramètres de réglage retenus pour l'expérimentation du procédé.

#### 4.1.2. Exploitation des données

- En utilisant les modèles trouvés, pouvez vous mettre en place des stratégies de réglage du procédé pour les 2 modèles mis en place. Pour cela aidez vous des différents types de représentations graphiques (Tracé des graphes d'effets et d'interactions, ...)

Valider la ou les solutions trouvées avec le simulateur. Attention, l'objectif est de réaliser le minimum d'essais.

#### 4.1.3. Stratégie d'optimisation des modèles :

- Détermination des réglages théoriques permettant d'obtenir (ou de tendre vers) la géométrie cible de la pièce, sans tenir compte des contraintes matérielles expérimentales ;
- Détermination des réglages théoriques permettant d'obtenir (ou de tendre vers) la géométrie cible de la pièce en prenant en compte les contraintes matérielles expérimentales suivantes :
  - Angle matrice  $A = 0^\circ$ ;
  - Angle matrice  $A = 16^\circ$ .

Les 2 autres paramètres (L et C) restent réglables.