

TD 15 : EMBOUTISSAGE

INTRODUCTION :

L'emboutissage de tôles est un procédé industriel qui permet d'obtenir à des cadences élevées des pièces de forme complexes non développables, en minimisant les pertes matière. Il est couramment retenu pour la fabrication d'éléments de carrosserie automobile, d'appareils électroménagers, d'emballages métalliques, de pièces mécaniques, ou d'ustensiles divers.

Outre la forme de l'outil, qui dépend de la complexité de la pièce à obtenir, de nombreux paramètres conditionnent la réussite de l'opération : ceux liés au processus d'une part, tels que réglages de la presse, vitesse d'emboutissage, lubrification, et ceux liés aux qualités de la tôle elle-même et à sa capacité de formage, encore appelée **formabilité**, que nous étudierons plus particulièrement dans ces exercices. La mesure des caractéristiques mécaniques des tôles ainsi que l'interprétation de leur relation avec l'aptitude au formage ont fait de grands progrès. Il en est de même pour la compréhension de l'opération d'emboutissage, entre autre par le biais de la simulation numérique qui permet maintenant de visualiser virtuellement le comportement du métal dans l'outil. Les systèmes de mesure de déformation sont également un outil qui permet des analyses quasi quantitatives sur pièces réelles. Néanmoins, la conception des outils et l'emboutissage restent encore partiellement un art basé sur l'expérience. On peut cependant prédire que, d'ici cinq à dix ans environ, les méthodes d'aide à la conception et à la fabrication automatique des outils auront pris le pas sur celles actuellement pratiquées.

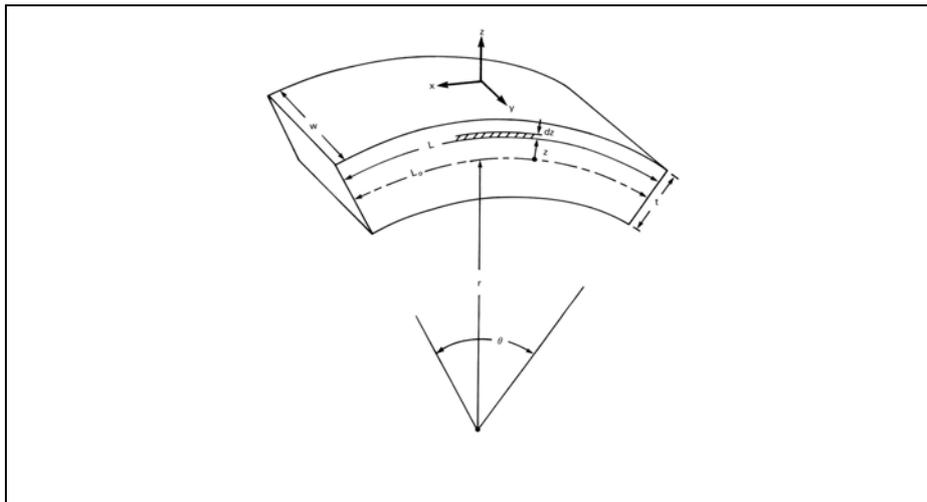
La majorité des applications industrielles concerne l'emboutissage de tôles minces, c'est-à-dire, dans la pratique, les tôles d'épaisseur comprise entre 0,2 et 3 ou 4 mm. Les matériaux considérés sont essentiellement l'acier et les alliages d'aluminium. Pour le formage des tôles épaisses, on parle de Formage des tôles fortes. Les tôles sandwich, les flans rabotés soudés, l'emboutissage à tiède des alliages d'aluminium ou de magnésium ou l'emboutissage à chaud d'aciers trempants constituent des combinaisons de matériaux et de procédés relativement nouvelles et font l'objet de nombreuses études industrielles.

EXERCICE 1 : RETOUR ELASTIQUE

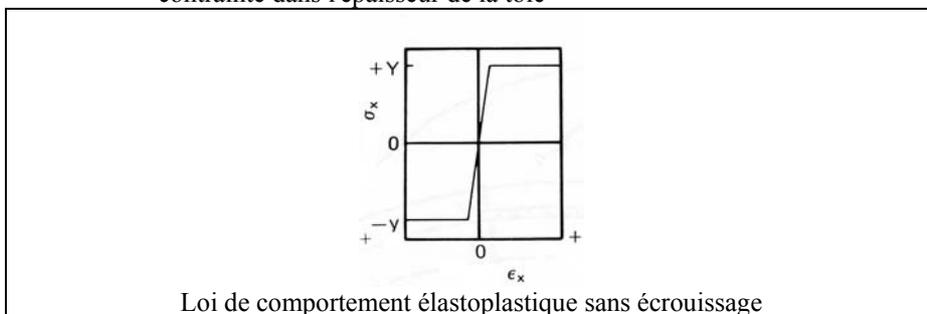
On applique un effort sur une tôle d'épaisseur 1 mm et d'acier de limite d'élasticité $\sigma_x = Y$ en traction 300 MPa est pliée sur un long outil de rayon 5 cm.

- Dessiner le profil des déformations dans l'épaisseur ?
- Si la tôle présente un comportement élastoplastique sans écrouissage, quelle proportion de l'épaisseur de la tôle reste élastique ?

On prendra un module d'Young $E = 210$ GPa, coefficient de Poisson $\nu = 0,3$, et on supposera des déformations planes et que la tôle est fine par rapport au rayon :



- c) En supposant que cet acier ne s'écrouit pas, tracer le profil de contrainte dans l'épaisseur de la tôle

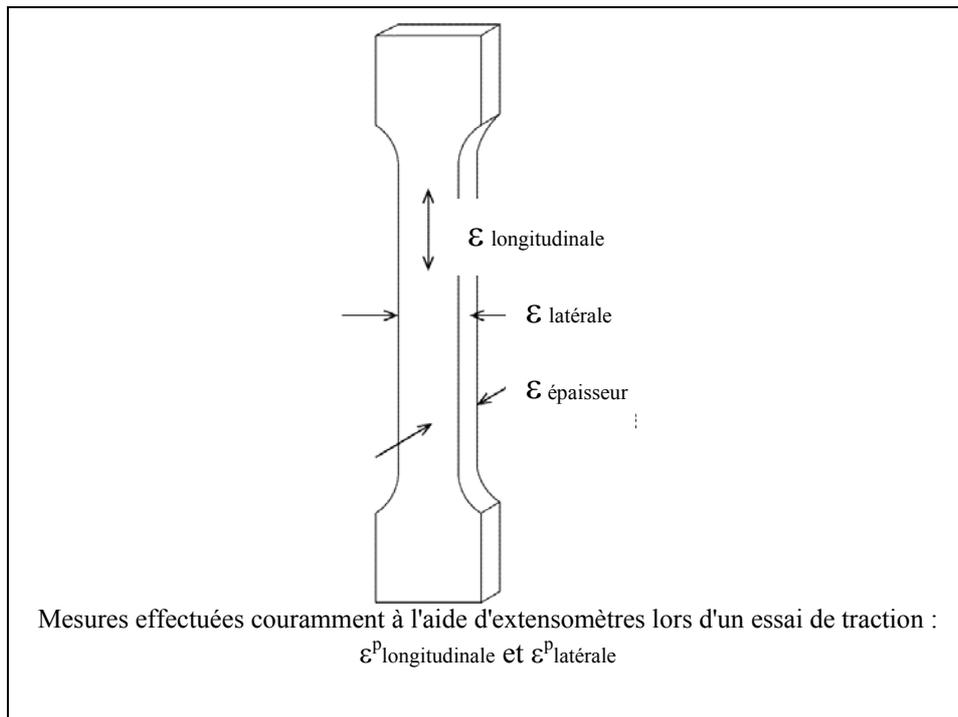


Loi de comportement élastoplastique sans écrouissage

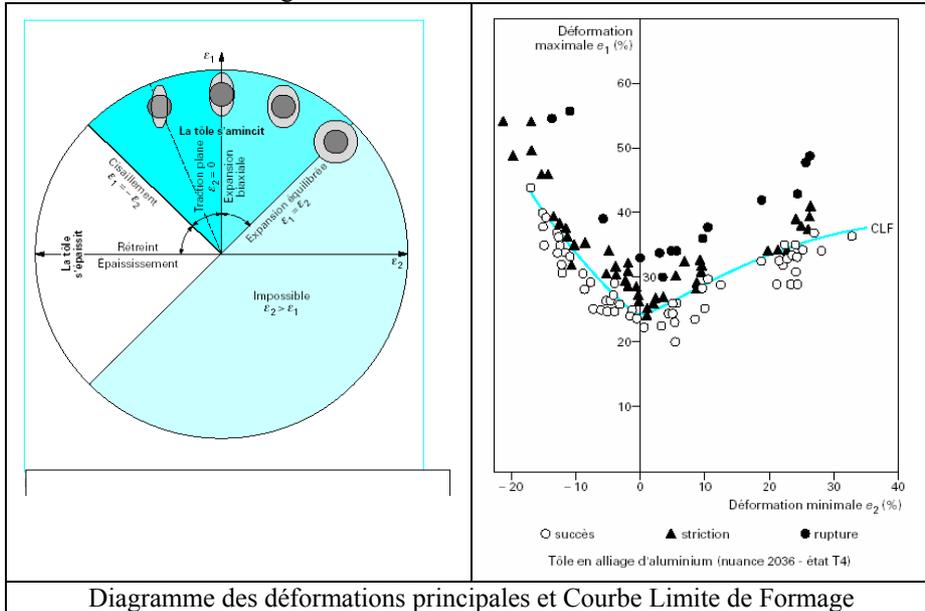
- d) Si on relâche l'effort, la tôle se déplie en partie c'est le retour élastique. Dessiner le profil de contrainte dans l'épaisseur à l'équilibre.
- e) Si on relâche totalement l'effort appliqué, la tôle se déplie en partie : c'est le retour élastique. Dessiner le profil de contrainte dans l'épaisseur à l'équilibre.
- f) En fait, lors d'une déformation à froid, l'acier se durcit, s'écrouit. Expliquer l'origine physique de ce durcissement.

**EXERCICE 2 : ANISOTROPIE VIA LES COEFFICIENTS DE LANKFORD
ET COURBES LIMITES DE FORMAGE**

$$\text{Coefficient de Lankford : } R = \frac{\varepsilon_{\text{latérale}}^p}{\varepsilon_{\text{épaisseur}}^p}$$



Courbe Limite de Formage :



- Quelle est la valeur du coefficient de Lankford pour une déformation isotrope ?
- Dans un cas général (matériau anisotrope), calculer le coefficient de Lankford en fonction de mesures d'extensomètres en traction simple, et en déduire la pente d'un essai de la traction simple dans un diagramme de Courbe Limite de Formage en fonction de R
- Certaines tôles en alliage d'aluminium peuvent présenter un R de 0,7, alors que d'autres en acier doux ont un R de 3. Quelle est l'origine de cette anisotropie ? Quelles valeurs de R permettent, a priori, d'envisager une opération d'emboutissage profond ?