





## DT3 Paramètres d'emboutissage

### 1. Hypothèse de mise en forme par rétreint pur

Le rétreint pur correspond à une déformation sans variation d'épaisseur de la tôle.

Cette hypothèse est en accord avec le souci de fabriquer une pièce sans amincissements locaux. Elle est d'autant mieux vérifiée que la tôle est fortement anisotrope.

### 2. Contrainte radiale de traction

En raisonnant sur un élément  $d\theta$  et en séparant les différentes zones d'un embouti cylindrique (collerette ou zone 1, pliage A ou zone 2, cylindre ou zone 3, pliage B et fond ou zone 4), l'analyse des efforts mis en jeu, donnée page suivante, permet de mettre en évidence cette contrainte.

La contrainte radiale  $\sigma_r$  dans la section de rayon  $r_{matrice} + r_{pliA}$  (zone 1) peut s'exprimer en fonction du seuil de plasticité  $\sigma_0$  et de l'effort de serre-flan:

$$\sigma_r = \left[ \frac{2\sigma_0}{\sqrt{3}} \left[ \ln\left(\frac{R}{r_a}\right) \right] + \frac{2\mu f_{SF/M}}{2\pi \cdot r_a \cdot e_0} \right] e^{\mu' \phi} \quad \text{avec } r_a = \frac{r_{matrice} + r_{poinçon}}{2},$$

$R$  : le rayon extérieur courant

$\phi$  : angle de contact du flan sur l'arrondi de la matrice (pris égal à  $\pi/2$  en avant-projet).

$\mu$  : coefficient de frottement au contact serre flan / flan / matrice. En avant-projet, il peut être pris égal à 0,15 avec un lubrifiant adapté à l'emboutissage.

$\mu'$  : coefficient de frottement au contact flan / arrondi d'entrée de matrice. En avant-projet, il peut être pris égal à 0,125 avec un lubrifiant adapté à l'emboutissage.

$f_{SF/M}$  : effort de serrage du flan entre serre flan et matrice.

*Remarque : Ce modèle simplifié ne tient pas compte de l'écrouissage du matériau ni de l'effort de pliage/dépliage sur l'arrondi d'entrée de matrice.*

### 3. Rapport et effort limite d'emboutissage lors de la première passe

Il existe un rapport limite d'emboutissage  $\frac{r_{poinçon}}{R_{flan}}$  en deçà duquel  $\sigma_r$  dépasse  $\sigma_{lr}$  dans la

zone 3, ce qui a pour conséquence de diminuer l'épaisseur de l'embouti final et de risquer la rupture de l'embouti dans le bas de cette zone.

*Remarque : Pour un matériau écrouissable, la formulation de  $\sigma_r$  est beaucoup plus complexe. D'autre part, en arrivant dans la zone 3, le métal est écroui par la déformation plastique qu'il a subi aux zones 1 et 2, sa limite  $\sigma_0$  s'est donc améliorée (jusqu'à s'approcher parfois de la limite à rupture du matériau)*

L'effort limite pour la première passe (pour le rapport limite d'emboutissage) peut être évalué par la formule empirique suivante :

$$F = k \cdot 2\pi \cdot r_{poinçon} \cdot e_0 \cdot \sigma_{lr}$$

Avec :

$k = 2,3 - 2,4$  ( $r_{poinçon} / R_{flan}$ )

$e_0$  = épaisseur du flan de départ

$\sigma_{lr}$  = contrainte limite à rupture du matériau du flan

$F$  = Effort limite de première passe

Unités

mm

MPa

N

## 4. Notions sur les efforts de formage

### La zone 1 (collerette):

En isolant un secteur angulaire  $d\theta$  d'embouti,

Les forces en équilibre en projection dans le plan de la collerette agissant sur cet élément sont les suivantes:

- Les forces de retreint résultantes des contraintes de compression circonférentielles.
- La force de traction de la zone 2
- La projection suivant l'axe  $r$  de la force verticale de serrage du flan par le serre-flan sur la matrice (supposée ensuite négligeable devant les autres).

soit  $e_0$  l'épaisseur du flan et  $R$  le rayon extérieur de l'embouti à l'instant considéré:

$$df_2 = \sigma_r (r_{matrice} + r_{pliA}) \cdot d\theta \cdot e_0$$

$$df_2 = 2 \cdot df_{r1} \cdot d\theta/2 - 2 \mu df_{SF/M}$$

### La zone 2 (pli n°1):

La contrainte radiale en sortie du pli A est augmentée essentiellement du frottement sur le pli :

$$\sigma_r = \left[ \frac{2\sigma_0}{\sqrt{3}} \left[ \ln\left(\frac{R}{r_a}\right) \right] + \frac{\mu f_{SF/M}}{\pi r_a e_0} \right] e^{\mu' \phi}$$

$$\text{avec: } r_a = \frac{r_{matrice} + r_{poinçon}}{2}$$

la force de traction  $df_3$  est donc égale à :

$$df_3 = \sigma_r r_a d\theta e_0$$

### La zone 3 (cylindre):

dans une première approche, on fera l'hypothèse de l'égalité des forces en entrée et en sortie.

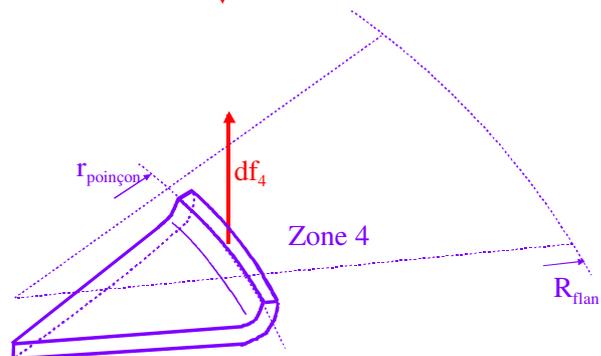
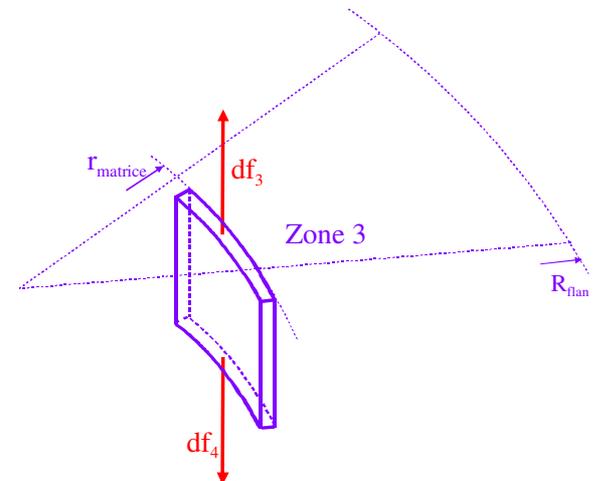
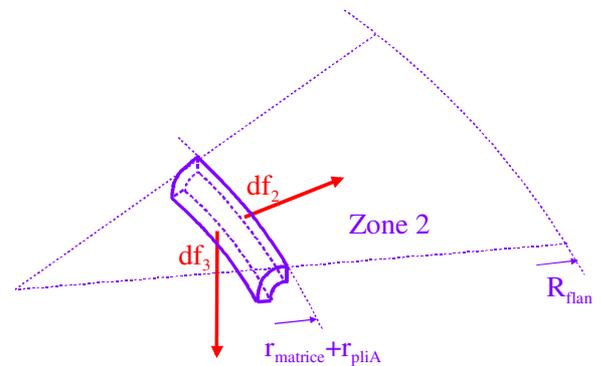
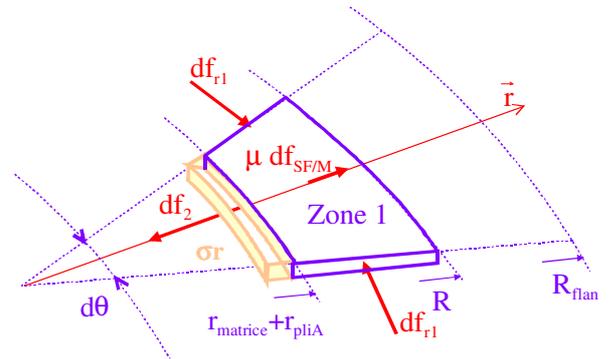
Cette zone est en traction uni-axiale : elle doit rester dans le domaine élastique si l'on ne veut pas qu'il s'y produise une diminution d'épaisseur.

### La zone 4 (pliage B et fond):

cet élément est soumis d'une part à la force  $df_4$  et d'autre part à la force du poinçon appliquée sur le fond. La force  $df_4$  est prise égale à la force  $df_3$ .

La pression de contact du poinçon sur la tôle est donc sensiblement de la forme :

$$\frac{\sigma_r r_a e_0}{r_{poinçon}^2}$$



## 5. Rappels sur la désignation des tôles

La qualité de la tôle : ( $\sigma_e$  est la limite élastique initiale de la tôle avant emboutissage)

| Contraintes (en MPa)             | NFA 36401<br>NF A 36-232 | EN10130 | $\sigma_{lr}$   | $\sigma_e$      | A% | HRB           |
|----------------------------------|--------------------------|---------|-----------------|-----------------|----|---------------|
| Qualité courante:                | TC                       | DC01    | 410             | 285             | 24 | 65            |
| Qualité emboutissage :           | E                        | DC03    | 370             | 250             | 31 | 57            |
| Qualité emboutissage spécial :   | ES                       | DC04    | 340             | 220             | 37 | 50            |
| Qualité haute limite élastique : | E 360 D                  |         | 430<br>à<br>530 | 360<br>à<br>460 | 20 | 73<br>à<br>76 |

Qualités spéciales :

- Phase Duplex
- Inoxydables
- Protégés contre la corrosion
- En acier réfractaire
- Magnétique, électrique
- Pour émaillage, peinture, galvanisation

La loi de Hollomon décrit le comportement dans le domaine plastique d'une tôle métallique de la façon suivante :

$$\bar{\sigma} = K \bar{\varepsilon}^n$$

Avec K : coefficient d'amplitude en N/mm<sup>2</sup>

n : Coefficient d'écrouissage moyen

$\bar{\sigma}$  et  $\bar{\varepsilon}$  : contrainte équivalente vraie et déformation rationnelle équivalente

Quelques valeurs :

Pour la tôle de qualité ES K = 515 N/mm<sup>2</sup> et n = 0, 206

Pour la tôle E360D K = 662 N/mm<sup>2</sup> et n = 0, 182

Quelques valeurs de contraintes à rupture au cisaillement  $\tau_c$  en Mpa:

| matière               | Etat écroui | Etat recuit |
|-----------------------|-------------|-------------|
| Tôle TC               |             | 310         |
| Tôle E                |             | 290         |
| Tôle ES               | 270         |             |
| Tôle E 360 D          | 310         |             |
| Tôle inox 18-8        | 500-550     | 500-550     |
| Tôle acier extra-doux | 310         |             |
| Tôle acier doux       | 480         | 360         |
| Tôle acier mi-doux    | 500         | 400         |

## 6. Modèle empirique de détermination du jeu poinçon/matrice

L'augmentation du jeu entre poinçon et matrice a une influence favorable sur l'effort du poinçon, mais d'autre part entraîne des inconvénients qui sont les suivants :

- l'augmentation sensible du jeu amène à la détérioration du profil de la paroi
- De plus, si le jeu est trop grand, il peut se produire une déviation du poinçon d'où l'apparition de languettes sur le bord de l'embouti.
- Des plis peuvent se former sur la paroi de l'embouti.

La relation empirique suivante permet de calculer ce jeu :

$$J = e_0 \sqrt{(R_{\text{flan}} / r_{\text{poinçon}})}$$

## 7. Rapports limites d'emboutissage

Voici des coefficients de réduction indicatifs pour les matériaux suivants :

D= diamètre du flan initial

$d_i$  = diamètre du poinçon à la passe « i »

| Matière   | Coefficient de réduction m |                        |                       |
|-----------|----------------------------|------------------------|-----------------------|
|           | 1° passe ( $d_1/D$ )       | 2° passe ( $d_2/d_1$ ) | 3°passe ( $d_2/d_3$ ) |
| Tôle ES   | 0,55                       | 0,70                   | 0,80                  |
| Tôle HLE  | 0,60                       | 0,80                   | 0,80                  |
| Tôle inox | 0,60                       | 0,80                   | 0,80                  |

## 8. Effort de serre flan

Dans une première approche, on utilise les valeurs de pression spécifique suivantes :

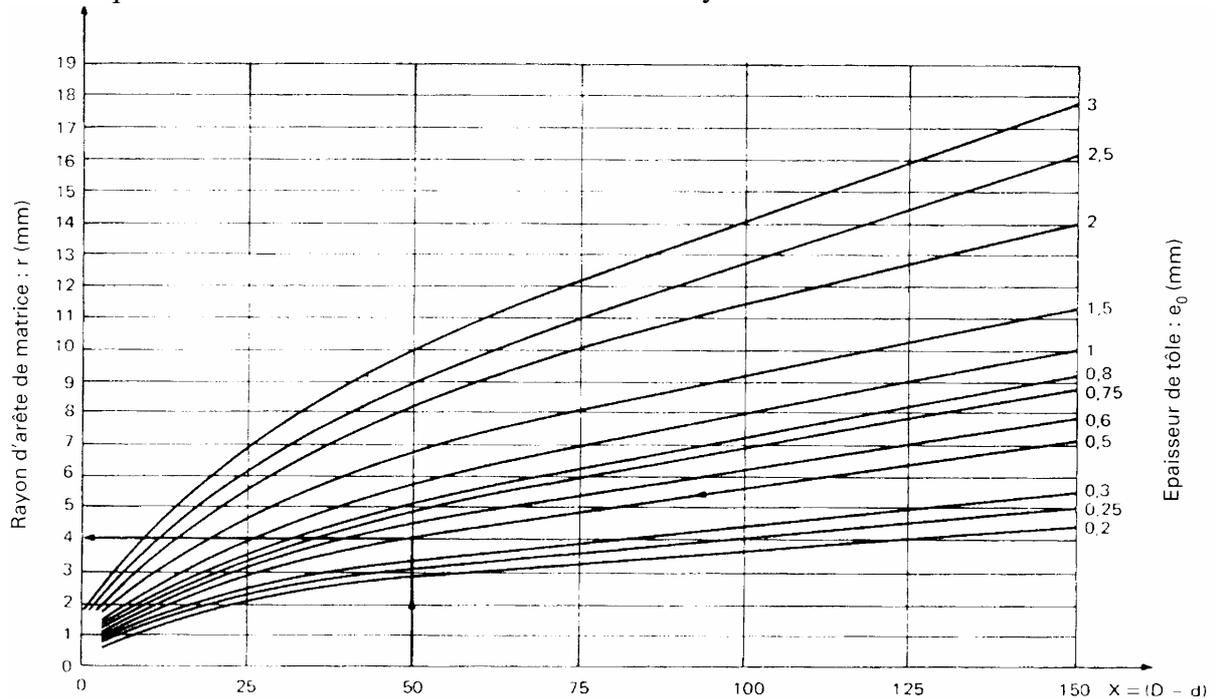
$P_{sf}$  : 2,5 ou 3 MPa pour l'acier d'emboutissage (tôle ES ou HLE) avec une épaisseur de tôle de 0,7mm. (pour les autres épaisseurs, appliquer la règle de 3).

L'effort de serre flan s'exprime ainsi :  $F_{sf} = P_{sf} \cdot S$

Avec S = surface du flan en contact avec le serre flan.

## 9. Rayon d'entrée matrice

Cet abaque du CETIM donne une indication sur les rayons de matrice à choisir :

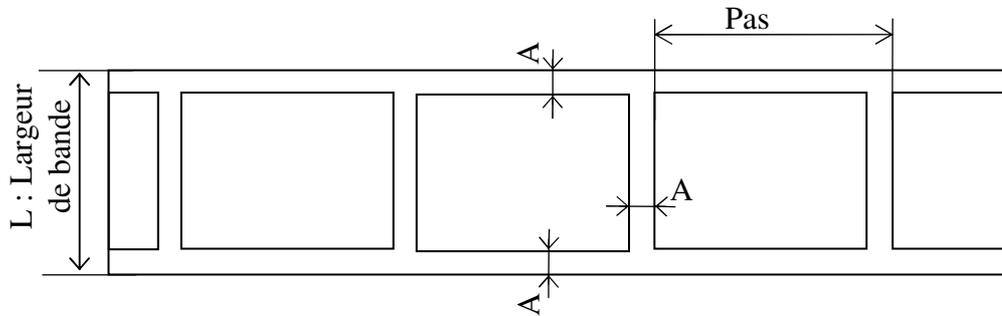


$X = (D - d)$ .  
D = diamètre de flan.  
d = diamètre du poinçon

Nota. — Les valeurs indiquées sont valables pour les métaux ferreux et les alliages de cuivre ; pour les métaux légers elles doivent être majorées de 10 % environ.

## DOCUMENT DT4 :

### PRECONISATIONS SUR LES DISTANCES A RESPECTER LORS D'UNE MISE EN BANDE

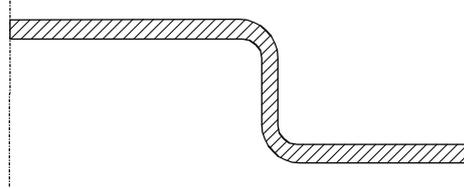


Extrait de table :

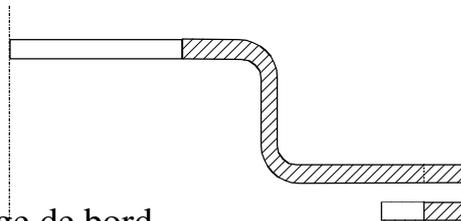
| Epaisseur<br>de la tôle<br>(mm) | L (mm) |      |       |       |       |       |       |              |
|---------------------------------|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
|                                 | L≤10   | L≤50 | L≤100 | L≤150 | L≤250 | L≤350 | L≤500 | L≤1000       |
|                                 | A (mm) |      |       |       |       |       |       |              |
| 0,8                             | 1,2    | 1,7  | 2,4   | 2,9   | 3,4   | 3,9   | 4,4   | <del>5</del> |
| 1                               | 1      | 1,5  | 2     | 2,5   | 3     | 3,5   | 4     | 6            |
| 1,5                             | 1,6    | 2    | 2,5   | 3     | 3,5   | 4     | 4,5   | 6,5          |
| 2                               | 2      | 2,5  | 3     | 3,5   | 4     | 4,5   | 5     | 7            |
| 2,5                             | 2      | 3    | 3,5   | 4     | 4,5   | 5     | 5,5   | 7,5          |
| 3                               | 2,3    | 3,5  | 4     | 4,5   | 5     | 5,5   | 6,2   | 7,7          |
| 3,5                             | 2,5    | 3,7  | 4,2   | 4,7   | 5,2   | 5,7   | 6,5   | 8            |
| 4                               | 2,5    | 4    | 4,5   | 5     | 5,5   | 6     | 7     | 8            |

**DOCUMENT DT5 :**  
**GAMME DE FORMAGE DE LA CIBLE**

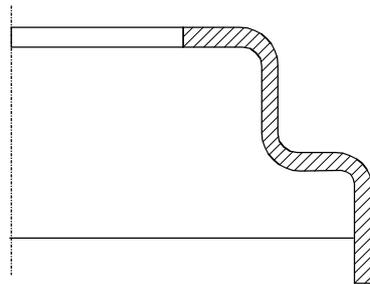
OP 10 : Emboutissage cylindrique (rayons intérieurs de 2,5 mini)



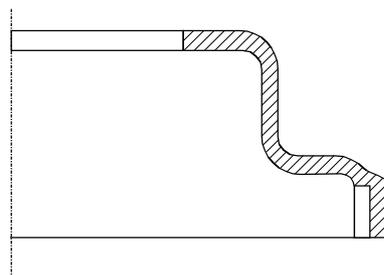
OP 20 : Détourage et poinçonnage ébauche de l'alésage central



OP 30 : Tombage de bord



OP 40 : Encochage



OP 50 : Poinçonnage de finition du trou central

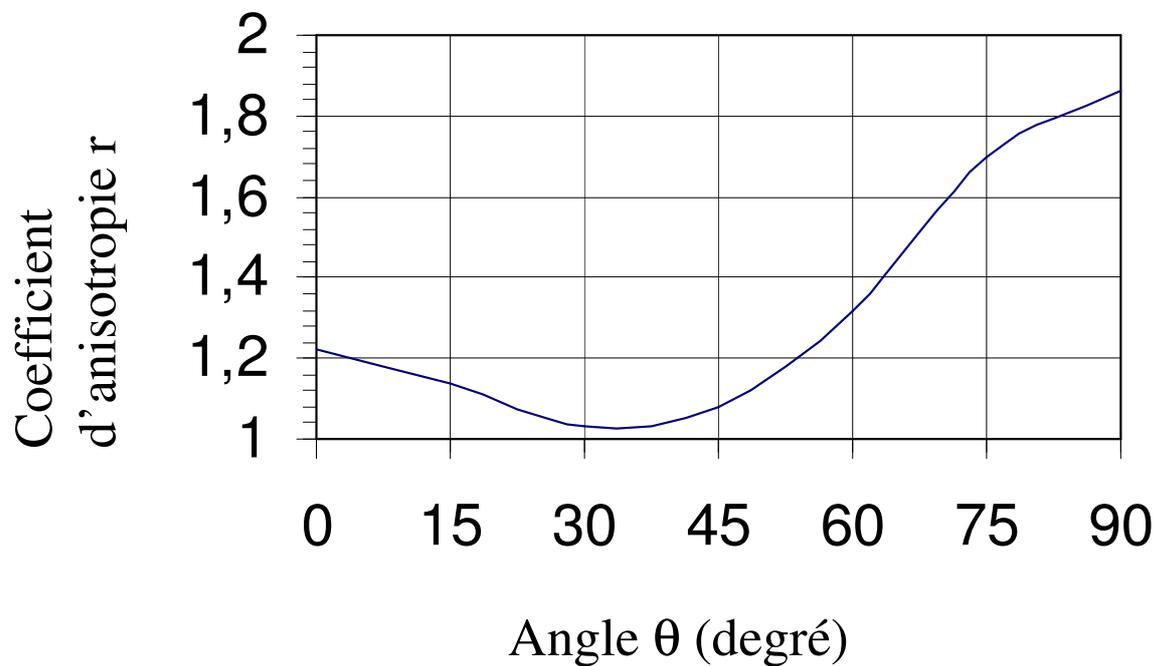
OP 60 : Calibrage des diamètres et réduction des rayons intérieurs

OP 70 : Glaçage de l'alésage  $\Phi$  102,8 pour la portée de joint

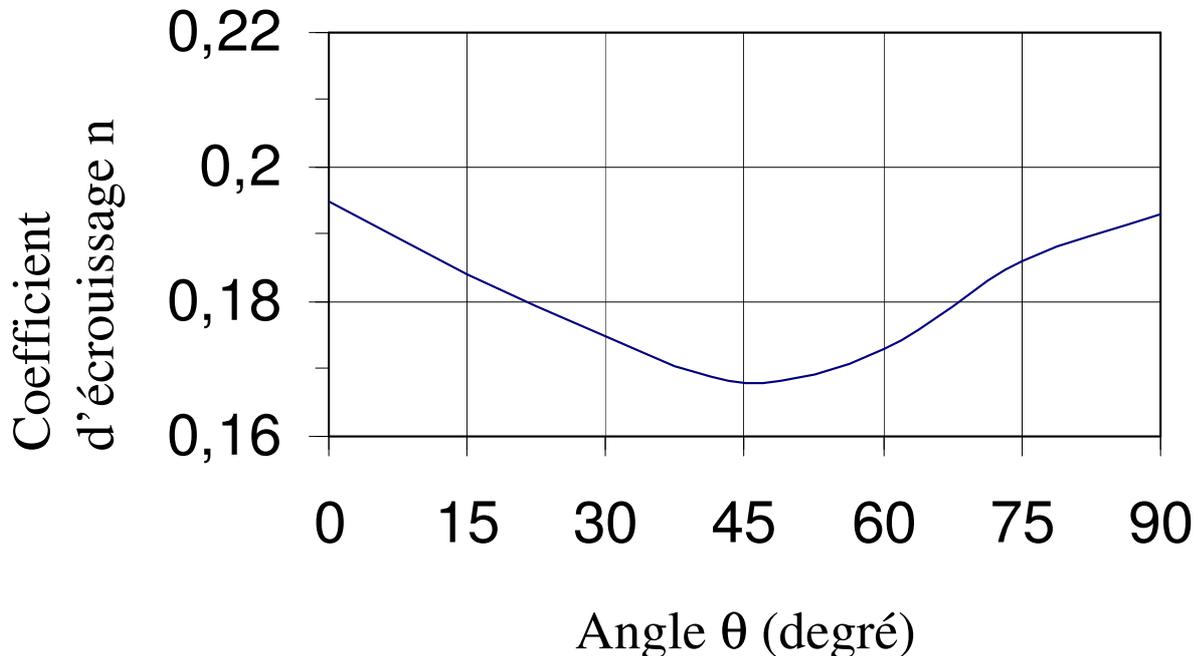
## DOCUMENT DT6 :

# VARIATION DU COEFFICIENT D'ANISOTROPIE « r » ET DU COEFFICIENT D'ECROUISSAGE « n » EN FONCTION DE L'ANGLE « $\theta$ » ENTRE LA DIRECTION DE TRACTION ET DE LAMINAGE

Variation du coefficient d'anisotropie « r »



Variation du coefficient d'écroissage « n »



# DOCUMENT DT7 :

## MISE EN PLACE DU CALCUL DE L'ALLONGEMENT

