

Wöhler continue de décroître en fonction de l'augmentation du nombre de cycles de charge et il n'existe aucune limite de fatigue. Voir page 7.

**Dans ce qui suit, la limite de fatigue est définie comme la contrainte à laquelle 50 % des pièces supportent au moins  $2 \cdot 10^6$  cycles de charge.**

La raison du choix du niveau de 50 % est qu'il peut être déterminé avec une bonne précision lors de l'essai.

La figure 19 permet de préciser un certain nombre d'autres paramètres tout en expliquant le principe du diagramme Goodman.

On distingue plusieurs sortes de contraintes de fatigue, par exemple, contrainte de flexion, de traction, de compression, de choc et de torsion.

Dans la pratique la majorité des calculs de définition des ressorts sont basés sur la fatigue à la flexion des aciers, mais la fatigue à la traction présente également un intérêt. Cette brochure donne des caractéristiques détaillées de contrainte par flexion alternée sous forme de courbes Wöhler et de diagrammes qui montrent la limite de fatigue en fonction de l'épaisseur de feuillard. En outre, des valeurs correspondant à 10 % de probabilité de rupture ont été ajoutées dans les diagrammes comme un élément supplémentaire nécessaire à l'appréciation de la sécurité contre les ruptures de fatigue. De plus, nous indiquons, sous forme de tableaux, les valeurs de résistance à la fatigue sous une contrainte de traction ondulée. De ces diagrammes et tableaux, il apparaît

qu'à une résistance à la traction donnée, les aciers inoxydables au Chrome ont la résistance à la fatigue la plus élevée et que les aciers au Carbone trempés sur ce point sont légèrement supérieurs aux aciers inoxydables austénitiques. Il est intéressant de noter qu'à une contrainte très élevée, correspondant à la partie inclinée de la courbe Wöhler, les aciers austénitiques offrent une plus grande longévité pour les ressorts.

Les caractéristiques indiquées ont été mesurées à des fréquences de charge de 25—100 Hz. L'influence de la fréquence sur la résistance est faible, tout au moins dans un intervalle modéré de fréquence et tant qu'il n'y a pas de corrosion.

Le diagramme Goodman permet de calculer graphiquement la résistance à la fatigue par flexion et par traction

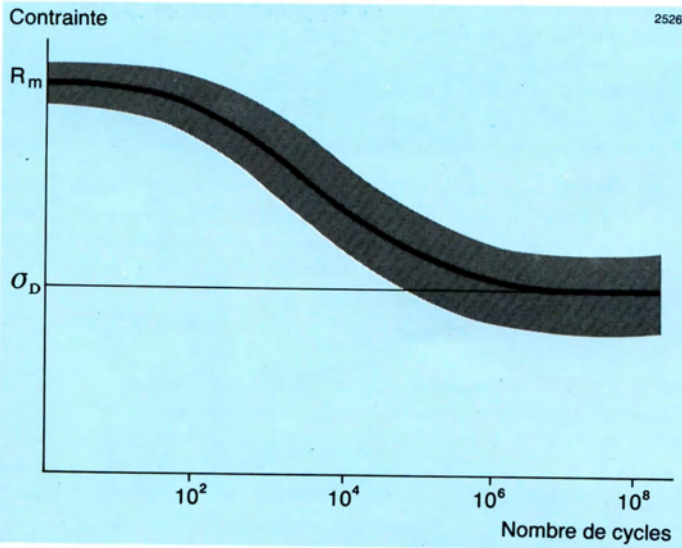


Figure 18. Diagramme Wöhler de principe montrant la relation entre la contrainte et la longévité d'un acier situé dans des conditions non corrosives.

$R_m$  = résistance à la traction statique de la matière

$\sigma_D$  = résistance à la fatigue de la matière

— = 50 % de probabilité de rupture

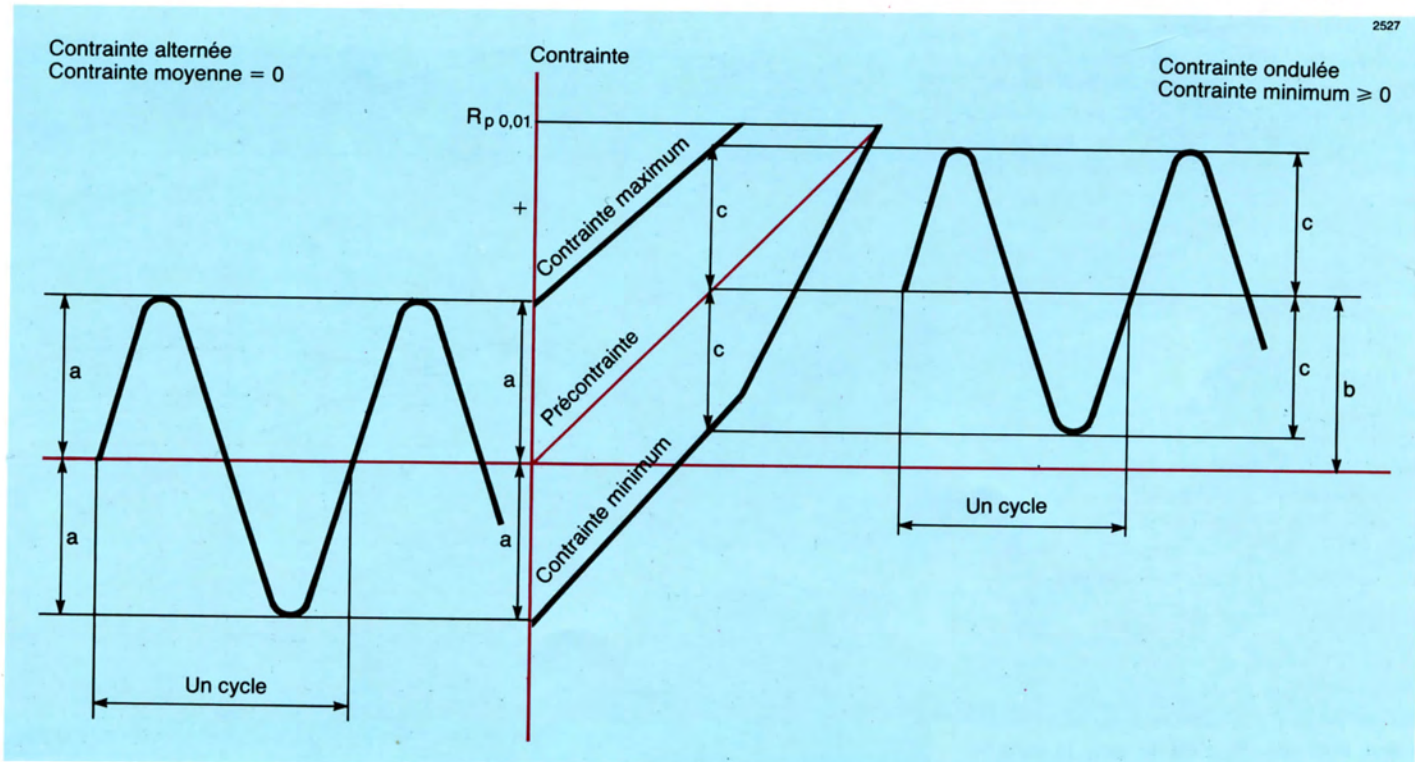
■ = zone de dispersion recouvrant 95 % des écarts de mesure (correspond à  $2 \sigma$  sur courbe de Gauss).

Figure 19. Diagramme Goodman de principe

$a$  = amplitude lors d'une contrainte alternée, contrainte moyenne = 0. La résistance à la fatigue est  $\pm a$  ( $N/mm^2$ )

$b$  = précontrainte

$c$  = amplitude lors d'une contrainte ondulée avec une précontrainte  $b$ . La résistance à la fatigue est  $b \pm c$  ( $N/mm^2$ ). Souvent la contrainte mini est = 0, c'est-à-dire  $c=b$ . Il y a lieu de noter que la "ligne de contrainte maxi" est limitée par la limite élastique de la matière,  $R_{p0,01}$ .





pour différentes précontraintes appliquées à toutes les nuances SANDVIK et dans les épaisseurs courantes. Les valeurs obtenues doivent être considérées comme une recommandation dans le cas où un degré de précision moyen est suffisant. La figure 20 montre une application pour du SANDVIK 11R51.

Les figures 21 et 22 montrent les profils des éprouvettes utilisées pour les essais de fatigue à la flexion et à la traction. Il est important que les éprouvettes ne présentent aucune amorce de rupture. Les facteurs importants qui agissent sur la résistance à la fatigue sont les suivants.

**Résistance à la traction**

La résistance à la fatigue d'un acier augmente lorsque sa résistance à la traction augmente. Sous une contrainte de flexion alternée, la limite de fatigue représente généralement 30—50 % de la résistance à la traction. Toutefois, la

sensibilité de la matière aux amorces de rupture augmente quand la résistance à la traction croît. De petits défauts superficiels et une forme défavorable de la pièce, donnant lieu à des concentrations de contraintes, ont par conséquent une influence de plus en plus grande sur la longévité des ressorts.

**Microstructure**

Pour avoir une bonne résistance à la fatigue, il est nécessaire que la matière ait une microstructure homogène et bien adaptée à chaque nuance d'acier et dans toute sa section. Une décarburation et une forte oxydation superficielles réduisent la résistance à la fatigue. Par contre, un oxyde mince et uniforme, jaune, bleu ou gris, n'a aucun effet négatif.

L'acier pour ressorts doit avoir une faible teneur en inclusions non métalliques. Les inclusions d'oxyde importantes et fragiles, situées près de la surface, ré-

duisent considérablement la résistance à la fatigue.

**Contraintes résiduelles**

A l'inverse des contraintes de traction, les contraintes de compression à la surface d'un feuilard sont favorables à la résistance à la fatigue. Celles-ci peuvent être créées par voie mécanique, entre autres par tonnelage ou grenailage, ou dans certains cas, par traitement thermique, par exemple nitruration.

**Surfaces**

L'amélioration de l'état de surface d'un acier à ressorts augmente sa résistance à la fatigue. Comme plusieurs autres facteurs ont également une influence sur la résistance à la fatigue, il existe tout naturellement une limite optimale pour la finesse de surface qu'il n'est pas rentable de dépasser. Les rugosités de surface des feuilards Sandvik sont indiquées dans ce document en valeurs  $R_a, \mu\text{m}$  maximum.

Figure 20. Diagramme Goodman de l'acier SANDVIK 11R51 d'une épaisseur de 0,25 mm, ayant une résistance à la traction standard de 1900 N/mm<sup>2</sup> et traité thermiquement à 425°C/4h. Type de test : essai de fatigue par flexion.

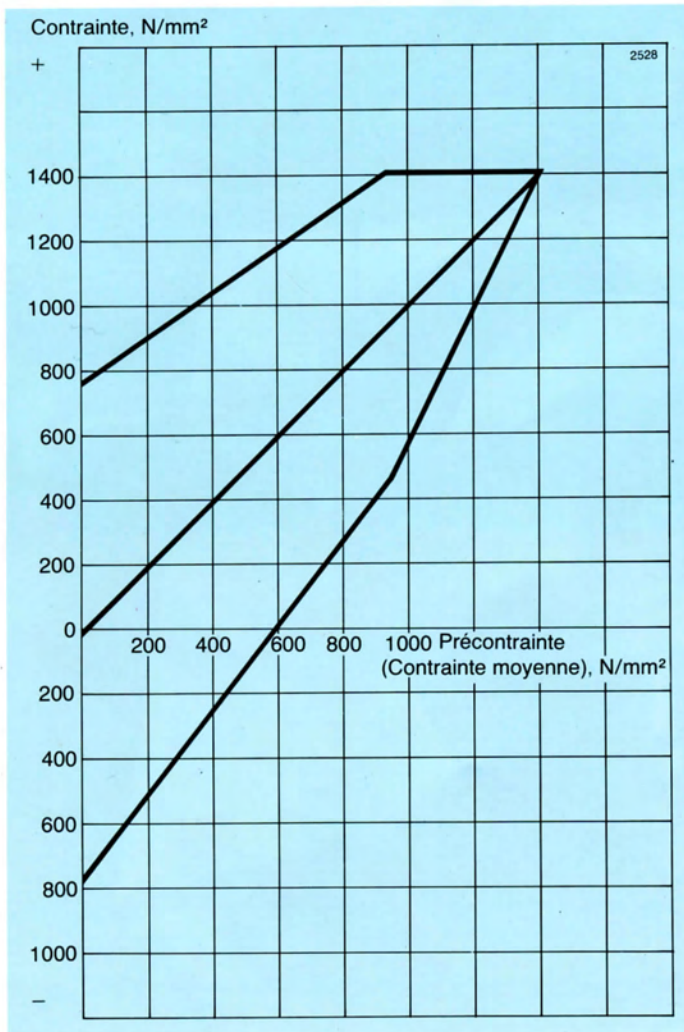


Figure 21. Eprouvette pour essai de fatigue par flexion. Echelle 1:1.

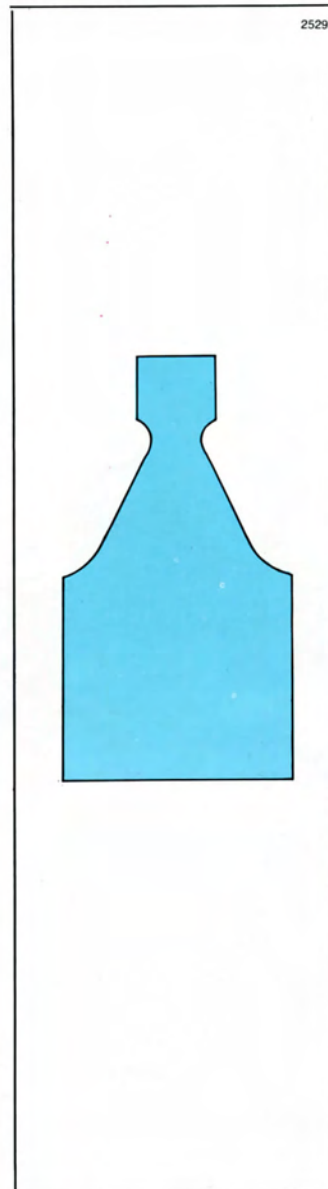
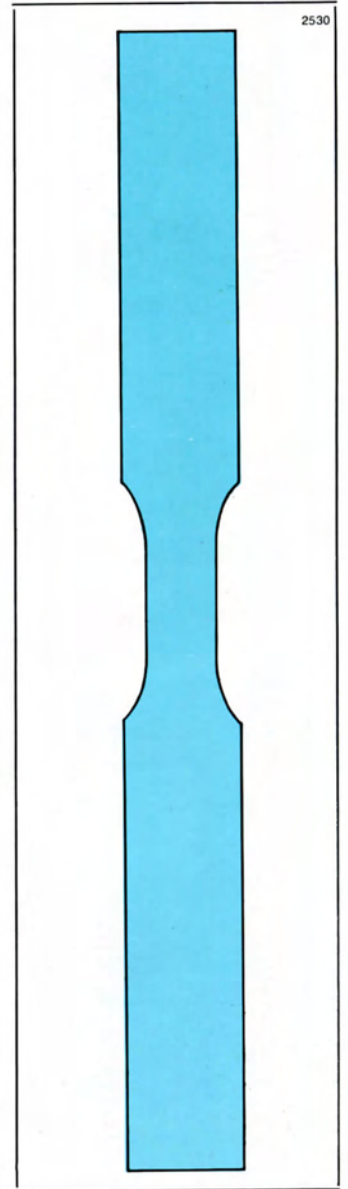


Figure 22. Eprouvette pour essai de fatigue par traction. Echelle 1:1.





Si possible, le sens de contrainte dans le ressort doit être orienté dans le même sens que le laminage du feuillard ou que le sens dominant des rayures superficielles éventuelles, provenant par exemple du polissage. Normalement, la résistance à la fatigue est légèrement supérieure dans le sens de laminage par rapport au sens transversal. Toutefois, les feuillards pour ressorts Sandvik de haute qualité avec un faible taux d'inclusions présentent un écart inférieur à 5 % entre les résistances à la fatigue du sens longitudinal par rapport au sens transversal.

#### **Bords**

Un ressort devant avoir une grande résistance à la fatigue doit posséder des bords ronds et réguliers. En conséquence

les bavures de découpage doivent être éliminées. Cette opération s'effectue ordinairement par tonnelage, lequel permet d'éliminer la zone superficielle dure et irrégulière des bords découpés en donnant à ceux-ci un profil plus favorable. Voir page 16.

Il est important de porter la plus grande attention à tout usinage mécanique des bords et des surfaces des ressorts en acier au carbone, afin d'éviter la formation d'une structure martensitique fragile, provoquée par des échauffements excessifs en cours d'usinage. Sinon, la résistance à la fatigue sera fortement réduite.

Les feuillards peuvent être livrés avec des bords déjà usinés lorsque ceux-ci sont utilisés à la fabrication de ressorts

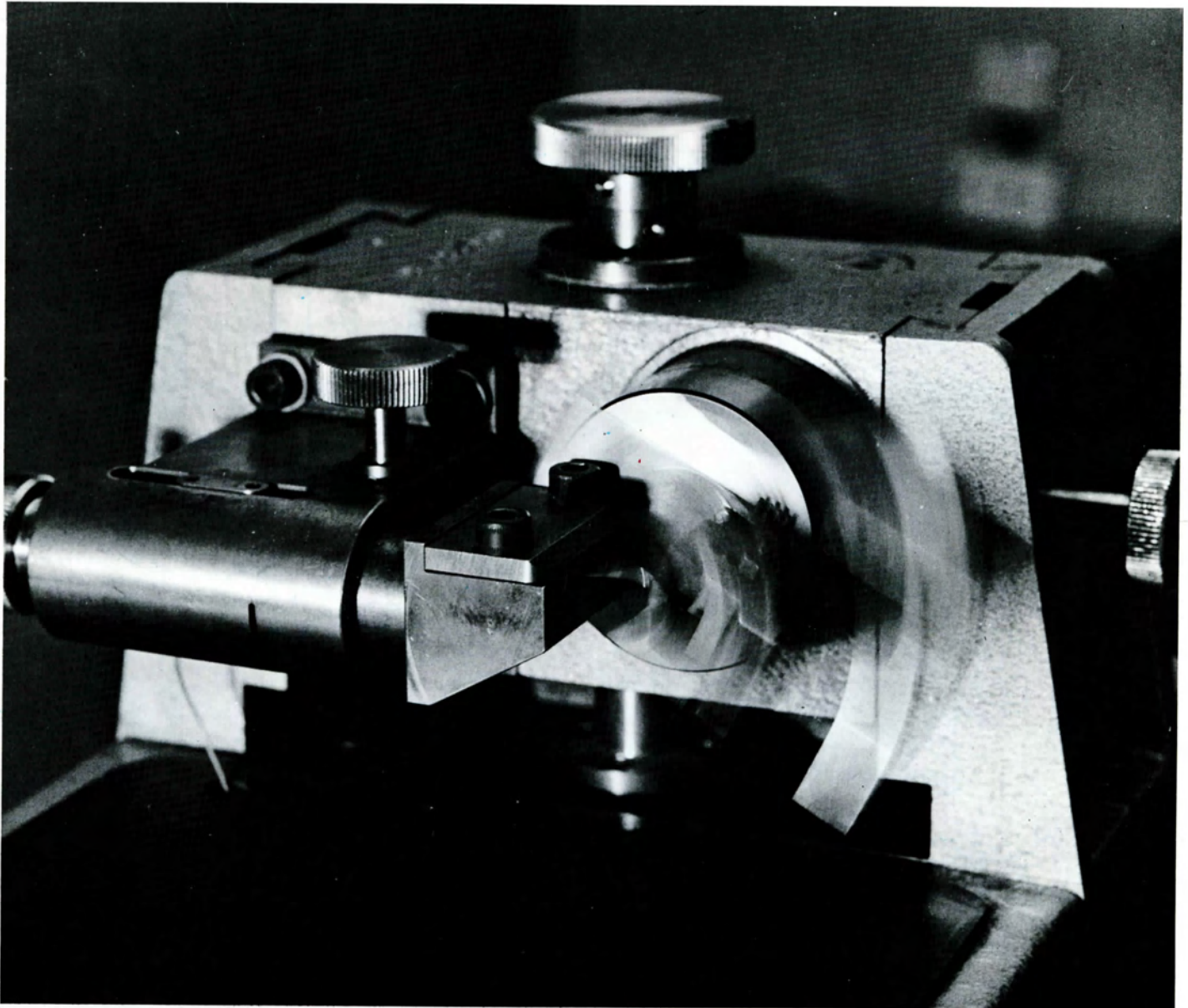
ne modifiant pas l'état des bords (par exemple, ressorts moteurs à enroulement spiralé).

Les ressorts soumis à des contraintes faibles ou élaborés à partir de feuillard présentant un rapport largeur sur épaisseur élevé peuvent utiliser des bords simplement cisailés ou cisailés-ébavurés sans risque pour la résistance à la fatigue.

A l'inverse, les ressorts à contrainte élevée et surtout avec un rapport largeur/épaisseur faible ou avec une épaisseur forte doivent présenter des bords ronds et réguliers afin d'assurer une longévité suffisante.

Les possibilités offertes par SANDVIK sur les finissages de bords sont présentées à la page 4.

*Figure 23. Machine d'essai de fatigue par flexion.*





## Pliage

### Rayons de pliage

Les essais de pliage ont été exécutés selon la Norme Suédoise SS 11 26 26, méthode 3, c'est-à-dire pliage sur bloc en V de 90° avec ouverture de matrice de 25 mm, largeur des éprouvettes 35 mm et bavures de cisailage tournées vers l'intérieur du pliage. Les résultats sont présentés ci-dessous par des valeurs moyennes correspondant aux plus petits rayons de pliage.

A résistance à la traction et épaisseur égale, les aciers inoxydables austénitiques

ont une aptitude au pliage parallèlement au sens de laminage inférieure à celle des autres aciers, mais en revanche celle-ci est supérieure pour un pliage perpendiculairement au sens de laminage.

### Rebondissement

Le rebondissement lors du pliage peut être déterminé approximativement à l'aide de la figure 24. Comme le rebondissement dépend également de la méthode de pliage, de la forme des outils, du réglage de la presse, etc, le

choix final de l'angle d'outil et du rayon de poinçon doit s'effectuer sur la base d'essais pratiques.

### Méthodes de pliage

Il est important d'utiliser pour le pliage des aciers trempés des méthodes offrant le moins de brutalité possible. Les figures 25a et 25b présentent les solutions les plus favorables car elles permettent de minimiser les effets de tension dans les parties pliées.

Le type d'outillage, très courant, présenté par la figure 25c provoque de très fortes contraintes dans les pliages, particulièrement lorsque les jeux entre poinçon et matrice sont insuffisants. La méthode de la figure 25b peut être employée pour améliorer les résultats.

Avec un outillage du type de la figure 25d, la tension à l'extérieur du pliage augmente lorsque l'ouverture du V diminue.

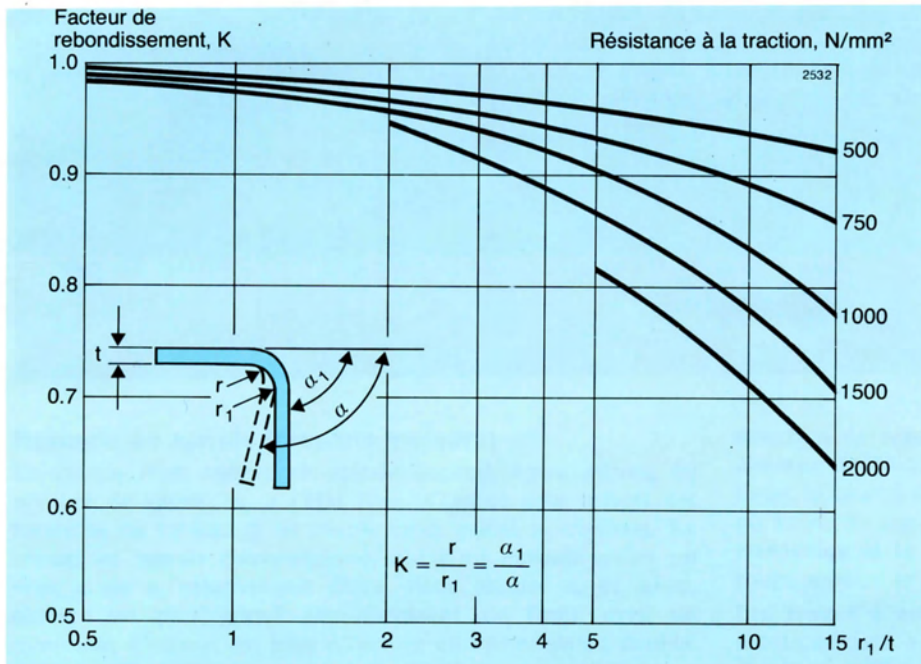


Figure 24. Rebondissement.

$K$  = facteur de rebondissement  
 $\alpha_1$  = angle de pliage après rebondissement  
 $\alpha$  = angle de la matrice de pliage  
 $r_1$  = rayon de pliage après rebondissement  
 $r$  = rayon du poinçon de pliage  
 $t$  = épaisseur du feuillard

Figure 25. Méthodes de pliage.

