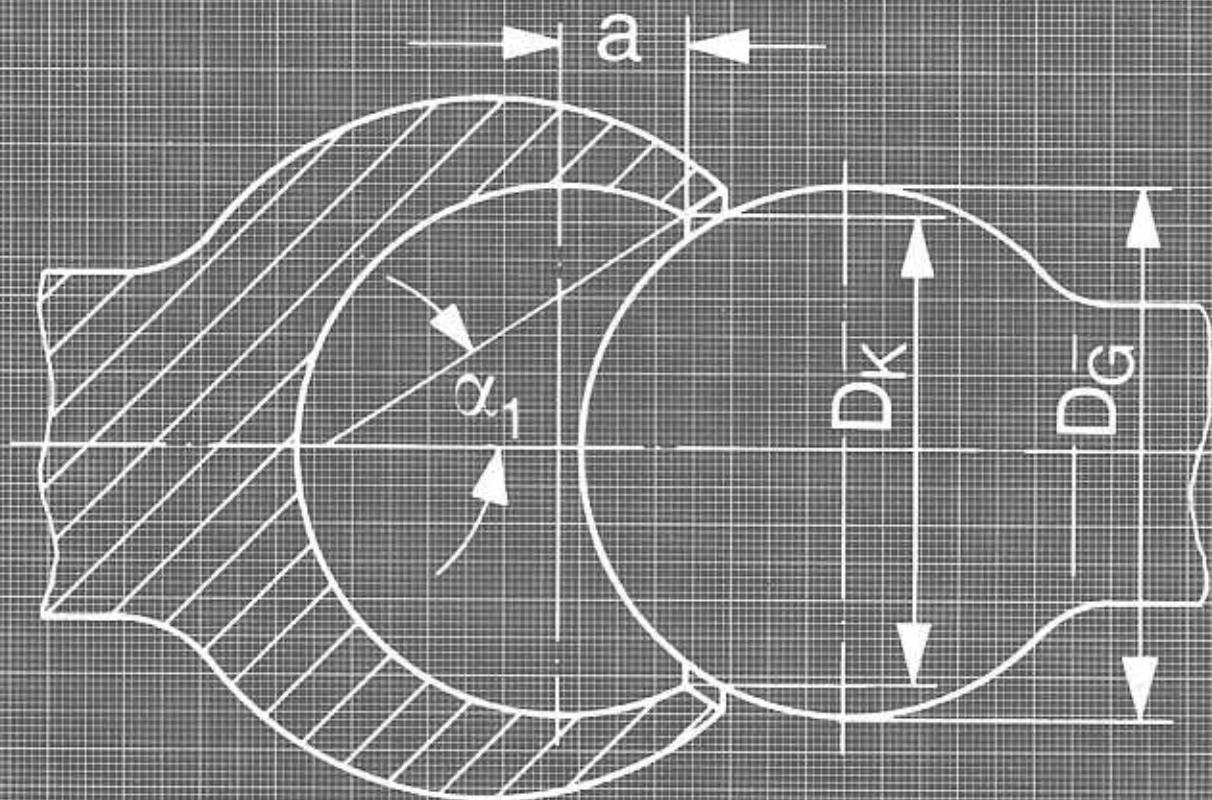


# Matières Plastiques Techniques

• Calcul · Conception · Applications



B.3.1

Calcul des assemblages par encliquetage  
de pièces en matière plastique

Hoechst



# Table des matières

<b>1. Introduction</b>	3
<b>2. Exigences imposées aux assemblages par encliquetage</b>	3
<b>3. Formes fondamentales</b>	4
3.1 Crochets d'encliquetage	4
3.2 Assemblages cylindriques	4
3.3 Assemblages à rotule	5
<b>4. Principaux paramètres d'un assemblage par encliquetage</b>	6
4.1 Hauteur d'encliquetage admissible $H_{adm}$ et déformation admissible $f_{adm}$	6
4.2 Module d'élasticité $E$	9
4.3 Coefficient de frottement $\mu$	9
4.4 Angle d'assemblage $\alpha_1$ et angle de retenue $\alpha_2$	10
<b>5. Calcul de l'assemblage par encliquetage</b>	11
5.1 Crochets d'encliquetage	11
5.2 Assemblages cylindriques	12
5.3 Assemblages à rotule	13
<b>6. Exemple de calcul</b>	14
6.1 Crochet d'encliquetage	14
6.2 Assemblages cylindriques	15
6.3 Assemblage à rotule	16
<b>7. Démoulage des pièces destinées à être assemblées par encliquetage</b>	17
<b>8. Exemples d'applications</b>	18
8.1 Crochets d'encliquetage	18
8.2 Assemblages cylindriques	20
8.3 Assemblages à rotule	21
<b>9. Symboles utilisés</b>	22
<b>10. Bibliographie</b>	22

## 1. Introduction

Les assemblages par encliquetage, offrent de multiples possibilités d'assemblage. L'une des pièces présente toujours un renflement, une surépaisseur, des boutons ou des crochets qui viennent se loger dans un creux, un évidement ou une contre-dépouille de l'autre pièce. Au moment de l'assemblage, les pièces subissent une déformation élastique. Suivant la forme des pièces, l'assemblage est indémontable ou démontable (fig. 3 et 4). Les assemblages indémontables peuvent supporter des contraintes permanentes, même à des températures relativement élevées. En ce qui concerne les assemblages démontables, il faut calculer pour chaque cas particulier la déformation admissible dans la zone de l'encliquetage se trouvant sous contrainte permanente prévue. La pression des pièces assemblées l'une sur l'autre étant nulles ou minimales dans les assemblages non soumis à des contraintes, ceux-ci sont rarement étanches, à moins d'utiliser des joints d'étanchéité (par ex. des joints toriques) ou une colle.

En raison de la simplicité du montage et de l'absence de tout autre élément auxiliaire, l'encliquetage est l'une des possibilités les moins onéreuses pour l'assemblage de pièces mécaniques en matière plastique.

## 2. Exigences imposées aux assemblages par encliquetage

Les assemblages par encliquetage sont destinés à fixer des pièces mécaniques dans une position déterminée les unes par rapport aux autres. Les pièces doivent parfois être assemblées sans jeu (par exemple pour les applications dans la construction automobile; on parle alors d'"assemblage anti-vibration"). Les contraintes longitudinales à transmettre sont relativement faibles. Dans la majorité des cas, l'assemblage n'a pas à supporter de sollicitation permanente (provoquée, par exemple, par une pression interne).

Les éléments d'assemblage particuliers comme les rivets à déclic, les agrafes et les clips fonctionnent selon le principe de l'encliquetage.

Les assemblages par encliquetage doivent être faciles à monter et offrir la possibilité du montage en aveugle, posséder une faible force d'assemblage et pouvoir compenser la tolérance dimensionnelle des allésages récepteurs.

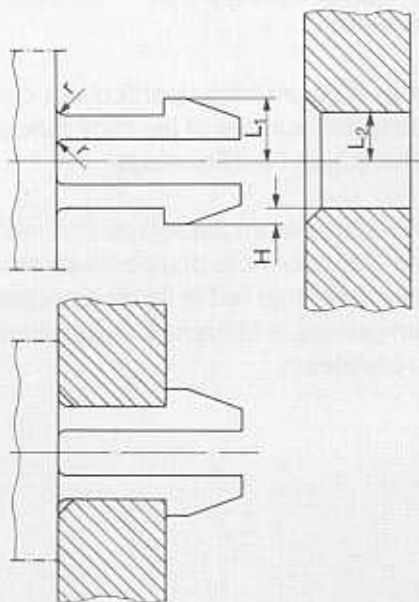
### 3. Formes fondamentales

Les pièces pourvues d'une contre-dépouille peuvent être cylindriques, sphériques ou en forme de crochet. Nous distinguerons ci-après:

1. les crochets élastiques,
2. les assemblages cylindriques,
3. les assemblages à rotule.

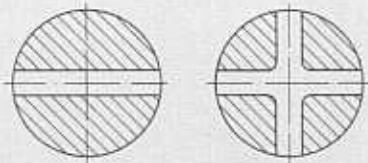
#### 3.1 Crochets élastiques

Figure 1



Ce sont des ressorts de flexion, fixés d'un côté, qui s'encastrent généralement dans un évidement de l'autre pièce (fig. 1). L'évidement peut être rectangulaire, circulaire ou oblong. La section du crochet est généralement rectangulaire, mais elle peut aussi être dérivée du cercle, c'est-à-dire que la section circulaire est alors interrompue par une ou plusieurs fentes destinées à réduire la rigidité du crochet et la force d'assemblage (fig. 2).

Figure 2:



La hauteur d'encliquetage H correspond à la différence entre le bord extérieur du crochet et le bord intérieur de l'évidement (fig. 1):

$$\text{Hauteur d'encliquetage } H = L_1 - L_2$$

Au moment de l'assemblage, le crochet se déforme de cette valeur.

Lorsque l'on dessine un crochet d'encliquetage, il faut donc veiller à éviter les amorces de rupture par effet d'entaille à la base du crochet. Le rayon r (fig. 1) devra donc être aussi grand que possible.

#### 3.2 Assemblages cylindriques

Figure 3: Assemblage indémontable

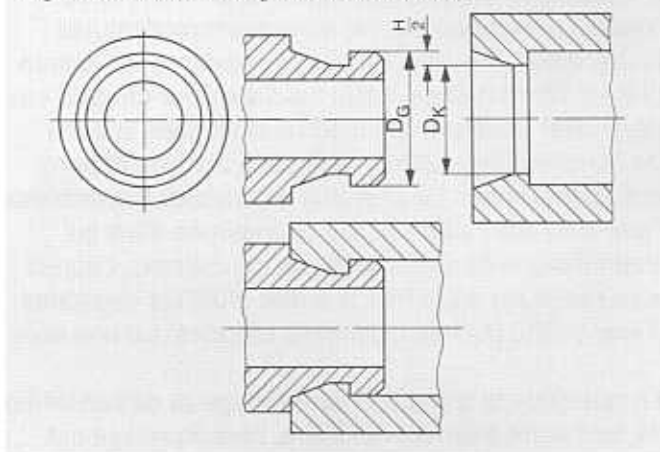
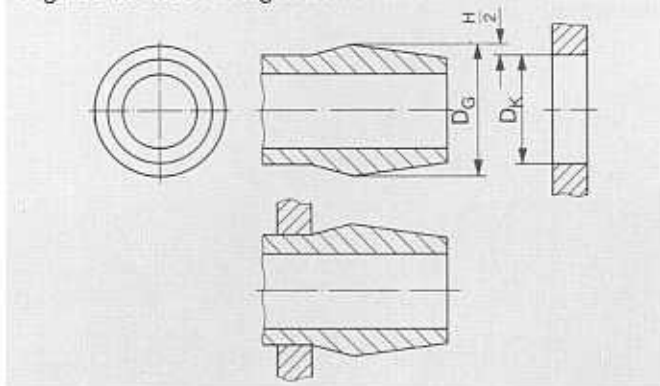


Figure 4: Assemblage démontable



Dans les cas des assemblages cylindriques, l'une des pièces comporte un renflement périphérique ou une surépaisseur. L'autre pièce peut présenter un creux périphérique (rainure) ou simplement une perforation. La différence de diamètre entre le plus grand diamètre de la pièce intérieure  $D_G$  et le plus petit diamètre de la pièce extérieure  $D_K$  correspond à la hauteur d'encliquetage H.

$$\text{Hauteur d'encliquetage } H = D_G - D_K \quad (2)$$

$D_G$	diamètre maximum de la pièce intérieure	[mm]
$D_K$	diamètre minimal de la pièce extérieure	[mm]

Les pièces doivent se déformer de cette dimension au moment de l'assemblage. Le diamètre de la pièce intérieure varie donc de  $-\Delta D_G$ , celui de la pièce extérieure de  $+\Delta D_K$ .

La hauteur d'encliquetage est donc donnée également par:

$$H = \Delta D_G + \Delta D_K \quad (3)$$

La pièce intérieure et la pièce extérieure se déforment conformément à ces variations de diamètres.

Compression ("−") pour la pièce intérieure:

$$\varepsilon_1 = - \frac{\Delta D_G}{D_G} \cdot 100\% \quad (4)$$

Allongement ("+") pour la pièce extérieure:

$$\varepsilon_2 = + \frac{\Delta D_K}{D_K} \cdot 100\% \quad (5)$$

Ignorant comment la hauteur d'encliquetage H se répartit sur les deux pièces, on admet qu'une seule pièce subit la déformation  $\varepsilon$  correspondant à toute la hauteur d'encliquetage H:

$$\varepsilon = \frac{H}{D_G} \cdot 100\% \quad \text{ou} \quad (6)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta D_K}{D_K} \cdot 100\%$$

$$\text{Hauteur d'encliquetage } H = D_G - D_K \quad (7)$$

$D_G$  diamètre de la rotule [mm]

$D_K$  diamètre de l'ouverture [mm]

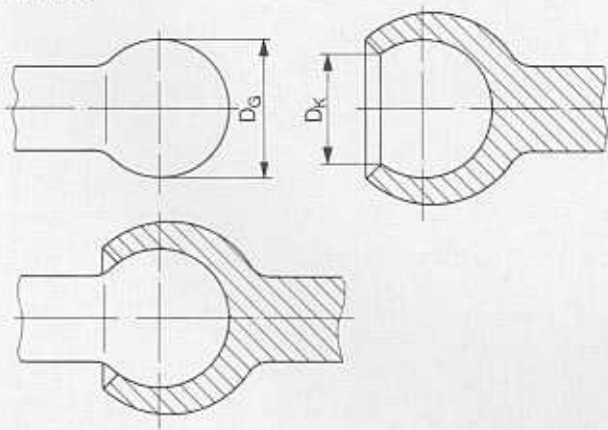
La pièce intérieure étant massive et par conséquent très rigide, il faut que la pièce extérieure se déforme de la valeur de H. La déformation de la pièce extérieure correspondant à la variation de diamètres est donc:

$$\text{Allongement } \varepsilon = \frac{D_G - D_K}{D_K} \cdot 100\% \quad (8)$$

$$\varepsilon = \frac{H}{D_K} \cdot 100\%$$

### 3.3 Assemblages à rotule

Figure 5



Les assemblages à rotule (fig. 5) servent surtout à la transmission de mouvements. Une rotule ou une section de rotule s'enclave dans un creux de même forme; la hauteur d'encliquetage H correspond à la différence entre le diamètre de la rotule  $D_G$  et celui de l'ouverture  $D_K$ .

## 4. Principaux paramètres d'un assemblage par encliquetage

Quel que soit le type d'encliquetage, il y a toujours un rapport linéaire entre la hauteur d'encliquetage  $H$  et l'allongement  $\varepsilon$ . Lorsque la valeur maximale admissible pour  $\varepsilon_{adm}$  est imposée, cela limite la hauteur d'encliquetage possible  $H_{adm}$ .

La contrainte admissible des assemblages par encliquetage dépend du module d'élasticité  $E$  et du coefficient de frottement  $\mu$ . Elle peut être adaptée aux besoins par la modification de la hauteur d'encliquetage  $H$  et de l'angle d'assemblage  $\alpha_1$  ou de l'angle de retenue  $\alpha_2$  (voir § 4.4).

### 4.1 Hauteur d'encliquetage admissible $H_{adm}$ et allongement admissible $\varepsilon_{adm}$

En ce qui concerne les crochets élastiques (fig. 6), il existe entre la hauteur d'encliquetage  $H$  (= flexion) par suite de la force de flexion  $F_B$  et l'allongement ou la compression dans la fibre extérieure de la section du crochet (section rectangulaire) la relation:

$$\text{Hauteur d'encliquetage } H = \frac{2}{3} \cdot \frac{l^2}{h} \cdot \frac{\varepsilon}{100} \quad (9)$$

- $l$  longueur du crochet [mm]
- $h$  hauteur du crochet [mm]
- $\varepsilon$  allongement [%]

Figure 6

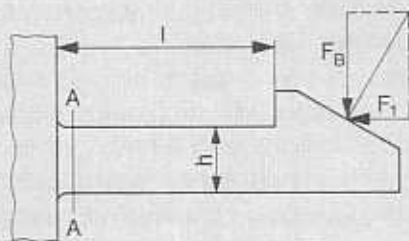
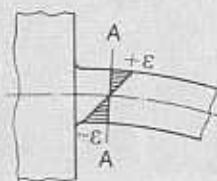



Figure 7: Allongement dans la section A-A (fig. 6)




Cette déformation maximale (fig. 7) ne se produit qu'à proximité de la base du crochet A-A (fig. 6); en d'autres endroits du crochet, la déformation est

plus faible. Comparativement aux assemblages cylindriques, le crochet élastiques est moins fortement sollicité, ce qui autorise des allongements plus importants, souvent nécessités par la conception de l'assemblage.


Pour les crochets de section non rectangulaire, on a les relations suivantes entre la hauteur d'encliquetage  $H$  et la déformation  $\varepsilon$  dans la fibre extérieure (allongement de la fibre extérieure):



$$\text{Section semi-circulaire } H = 0,578 \frac{l^2}{r} \cdot \varepsilon \quad (10)$$



$$\text{Section en tiers de cercle } H = 0,580 \frac{l^2}{r} \cdot \varepsilon \quad (11)$$



$$\text{Section en quart de cercle } H = 0,555 \frac{l^2}{r} \cdot \varepsilon \quad (12)$$

Ces relations sont approximativement valables également pour les crochets de section en forme de secteur de cercle, l'erreur étant inférieure à 10%.

La hauteur d'encliquetage admissible  $H_{adm}$  pour les crochets de section rectangulaire est donnée en fonction de la longueur et de la hauteur du crochet par les figures 8 à 11.

Figure 8: Hauteur d'encliquetage admissible  $H_{adm}$  pour l'®Hostaform et l'®Hostalen PP.

® = marque déposée de Hoechst

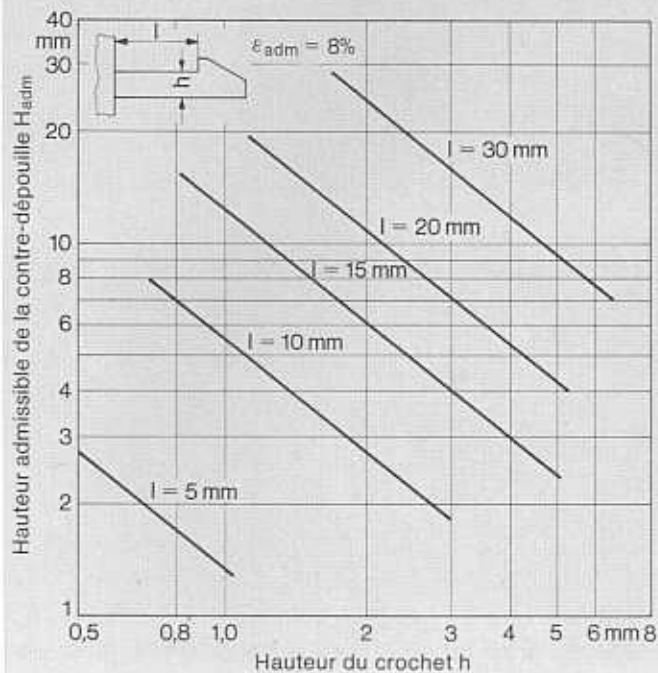


Figure 10: Hauteur d'encliquetage admissible  $H_{adm}$  pour l'Hostalen PPN VP 7190 TV 40, PPN VP 7790 GV 1/30 et PPN VP 7790 GV 2/30.

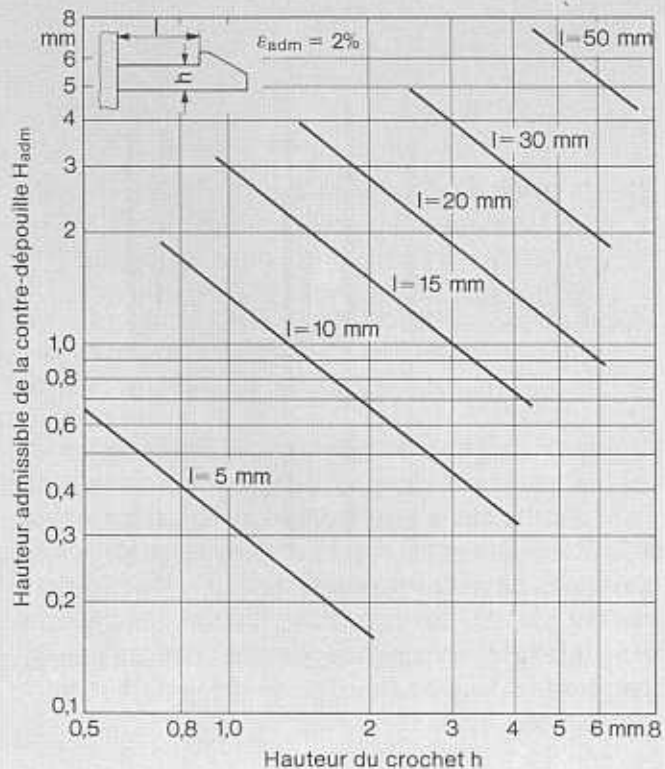


Figure 9: Hauteur d'encliquetage admissible  $H_{adm}$  pour l'®Hostaform C 9021 GV 1030

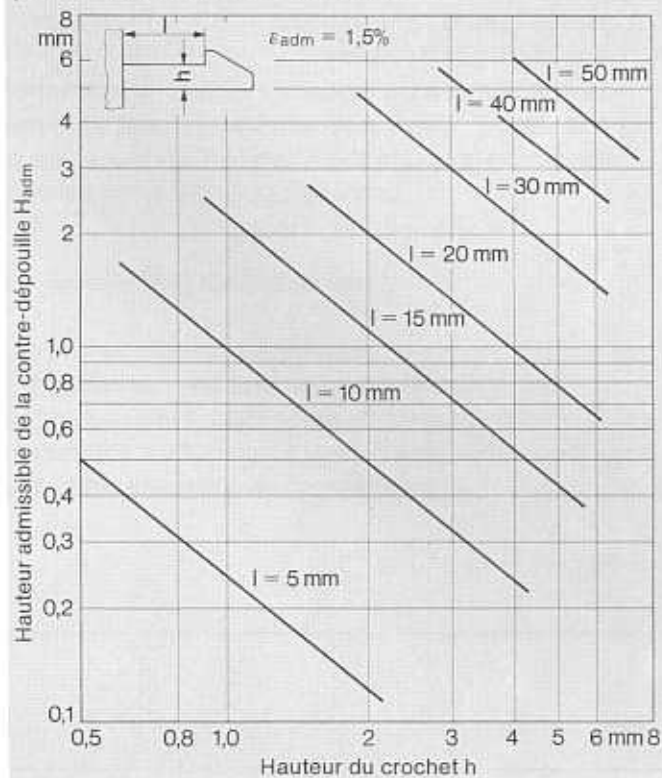
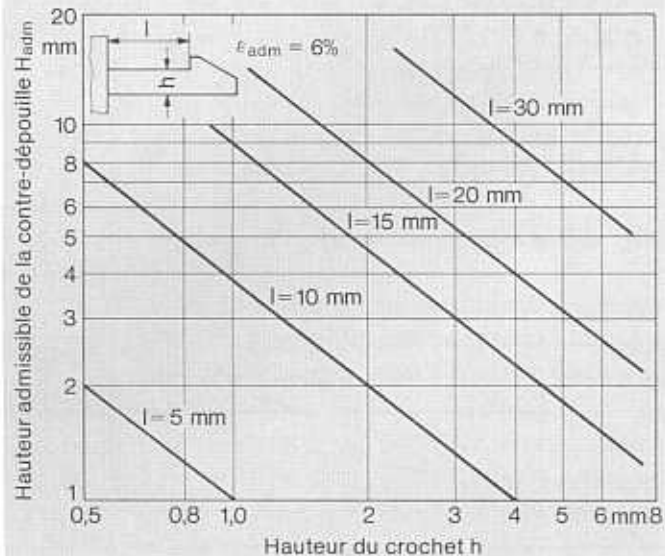


Figure 11: Hauteur d'encliquetage admissible  $H_{adm}$  pour l'Hostalen PPN VP 7780 GV 20, PPN VP 7780 GV 3/20, PPN VP 7180 TV 20 et l'Hostalen GC VP 7260 GV 1/20.



Pour les assemblages cylindriques et à rotule, la hauteur d'encliquetage s'obtient à partir de l'allongement admissible  $\varepsilon_{adm}$  (%) selon l'égalité:

Hauteur d'encliquetage admissible

$$H_{adm} = \frac{\varepsilon_{adm}}{100} \cdot D_G \quad (13)$$

$D_G$  Diamètre extérieur de la pièce intérieure [mm] pour les assemblages par encliquetage cylindriques ou diamètre de la rotule [mm] pour les assemblages à rotule.

Pour les matières plastiques à seuil d'écoulement très net (par ex. Hostaform), on adoptera comme allongement admissible le tiers environ de l'allongement au seuil d'écoulement  $\varepsilon_s$  (fig. 12a). Pour les matières plastiques ne présentant pas de seuil d'écoulement très net (par ex. polypropylène chargé de fibres de verre, fig. 12b), on pourra admettre un allongement d'environ un tiers de l'allongement à la rupture  $\varepsilon_R$  (voir tableau 1).

Figure 12a: Matières plastiques à seuil d'écoulement  $\sigma_s$  très net (par ex. Hostaform)

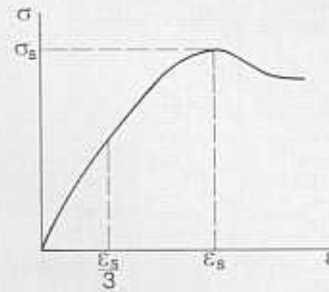


Figure 12 b: Matières plastiques sans seuil d'écoulement  $\sigma_s$  très net (par ex. Hostalen PP chargé)

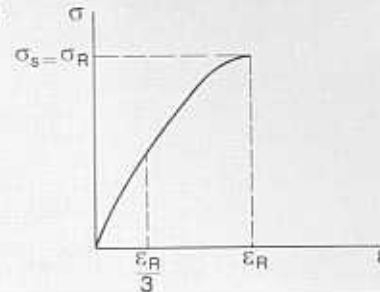


Tableau 1: Allongement admissible  $\varepsilon_{adm}$  pour détermination de la hauteur d'encliquetage admissible  $H_{adm}$

Matériau	Allongement admissible $\varepsilon_{adm}$ (%)	
	Crochet élastique	Assemblages cylindriques, assemblages à rotule
Hostaform C 2521		
Hostaform C 9021		
Hostaform C 13021		
Hostaform C VP 13031		
Hostaform C 27021	8	4
Hostaform C 9021 K		
Hostaform C 9021 M		
Hostaform C 9021 TF		
Hostaform T 1020		
Hostaform C 9021 GV 1/30	1,5	0,8
Hostalen PPN VP 7780 GV 20		
Hostalen PPN VP 7780 GV 3/20	6	3
Hostalen PPN VP 7180 TV 20		
Hostalen PPN VP 7790 GV 1/30		
Hostalen PPN VP 7790 GV 2/30	2	1
Hostalen PPN VP 7190 TV 40		
Hostalen GC VP 7260 GV 3/20	6	3

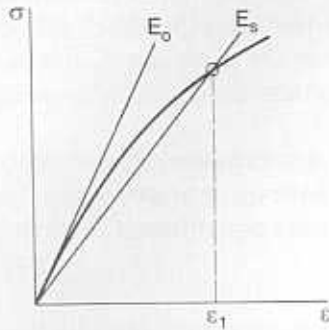


## 4.2 Module d'élasticité E

Le module d'élasticité  $E_0$  est défini, d'après la norme DIN 53457, par la pente de la tangente à l'origine du diagramme contrainte/allongement (fig. 13)

$$E_0 = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{au point } \varepsilon = 0. \quad (14)$$

Figure 13



Pour les allongements relativement grands, par ex.  $\varepsilon_1$  (fig. 13), le module d'élasticité est inférieur du fait que  $\varepsilon$  n'est pas une fonction linéaire de  $\sigma$ . Le module d'élasticité correspond alors à la pente de la sécante passant par l'origine et le point du diagramme contrainte/allongement correspondant à  $\varepsilon_1$ . Il est appelé "module sécant"  $E_s$  et dépend de la valeur de l'allongement  $\varepsilon$ .

$$E_s = f(\varepsilon) \quad (15)$$

Ce module sécant  $E_s$  est utilisé pour le calcul des assemblages par encliquetage. Il est représenté à la figure 14 jusqu'à l'allongement maximal admissible pour les crochets d'encliquetage.

## 4.3 Coefficient de frottement $\mu$

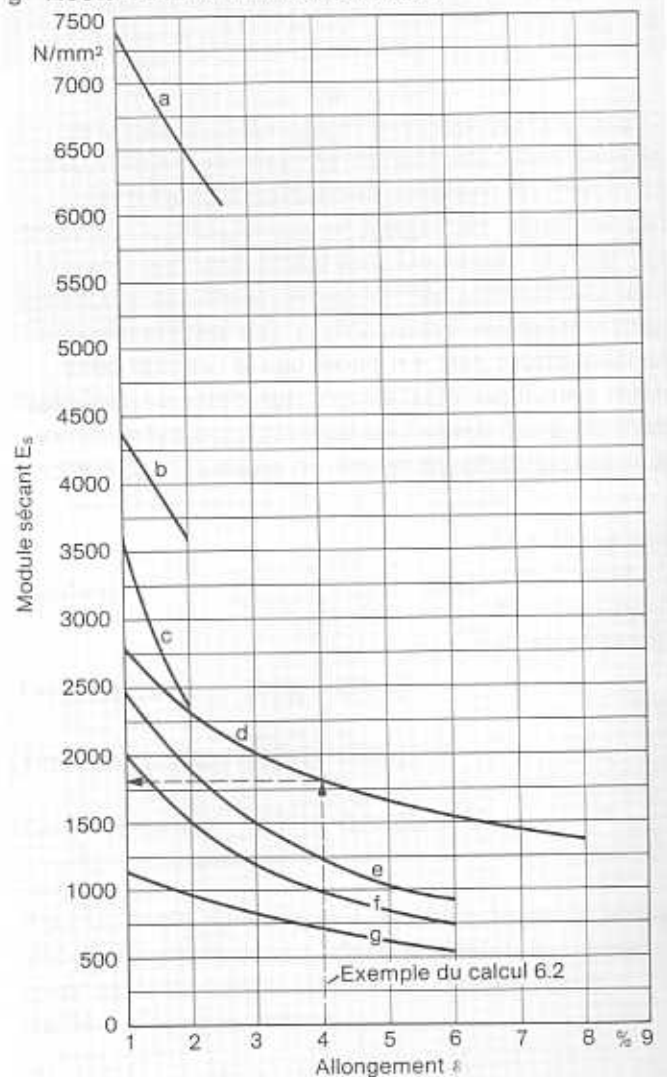
Les pièces doivent s'assembler aisément, malgré le frottement qui dépend de la nature des deux matériaux, de la rugosité de surface et de la pression de contact. Au tableau 2 sont indiqués les coefficients de frottement entre divers matériaux.

Tableau 2

Matériaux en contact	Coefficient de frottement $\mu$
Hostaform/Hostaform	0,2 à 0,3
Hostaform/autres mat. plast.	0,2 à 0,3
Hostaform/acier	0,1 à 0,2
Hostalen PP/Hostalen PP	0,4
Hostalen PP/autres mat. plast.	0,3 à 0,4
Hostalen PP/acier	0,2 à 0,3

Figure 14: Module d'élasticité sécant  $E_s$  représenté en fonction de l'allongement de la fibre extérieure (à partir de l'essai de flexion en 3 points) ( $\varepsilon \approx 1\% \text{ mn}$ )

- a Hostaform C 9021 GV 1/30
- b Hostalen PPN VP 7790 GV 2/30
- c Hostalen PPN VP 7190 TV 40
- d Hostaform C 9021
- e Hostalen PPN VP 7180 TV 20
- f Hostalen PPN VP 7780 GV 20
- g Hostalen PPN VP 7780 GV 3/20



#### 4.4 Angle d'assemblage $\alpha_1$ et angle de retenue $\alpha_2$

Figure 15: Assemblage démontable



Figure 16: Assemblage indémontable:  $\alpha_2 = 90^\circ$

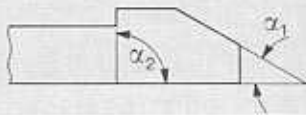
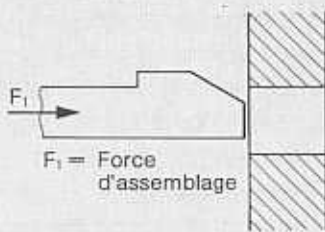


Figure 17



L'angle d'assemblage  $\alpha_1$  (fig. 15 et 16) détermine, conjointement avec les dimensions du crochet et le coefficient de frottement  $\mu$  (tableau 2), la force d'assemblage nécessaire  $F_1$  (fig. 17), qui est d'autant plus grande que  $\alpha_1$  est plus grand. Lorsque l'angle d'assemblage  $\alpha_1 \geq 45^\circ$  et que le coefficient de frottement  $\mu$  est élevé, il peut arriver que les pièces ne s'encliquettent plus. En pareil cas le crochet sera plutôt détruit par cisaillement que déformé. Pour les crochets élastiques et les assemblages cylindriques, nous préconisons de retenir un angle  $\alpha_1 = 15$  à  $30^\circ$ .

Avec les assemblages à rotule, on ne peut pas choisir n'importe quel angle d'assemblage, car il dépend du diamètre d'ouverture admissible  $D_k$  de la pièce extérieure (fig. 23).

L'angle de retenue  $\alpha_2$  (fig. 15 et 16) est déterminant pour la cohésion de l'assemblage. Celle-ci est maximale pour un angle de retenue  $\alpha_2 = 90^\circ$  (fig. 16). Dans ce cas, l'assemblage est indémontable. Pour obtenir un assemblage démontable, il faut prévoir un angle de retenue  $\alpha_2 \leq 45^\circ$  et de préférence compris entre 30 et  $45^\circ$ .

## 5. Calcul de l'assemblage par encliquetage

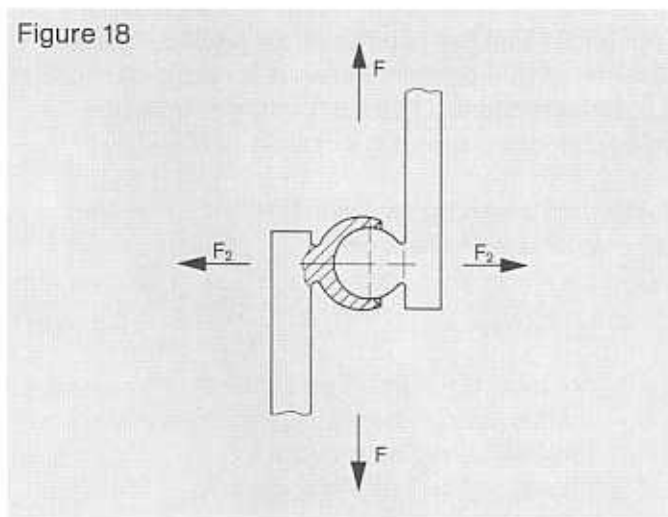
La cohésion des assemblages par encliquetage dépend essentiellement

1. des propriétés mécaniques des matières plastiques, surtout de la rigidité du matériau, exprimée par le module d'élasticité  $E_s$ ,
2. de la forme de l'assemblage, c'est-à-dire de l'épaisseur de la paroi, de la hauteur d'encliquetage  $H$  et de l'angle de retenue  $\alpha_2$ .

On appelle cohésion de l'assemblage, la force de retenue  $F_2$  de l'assemblage supportée dans le sens contraire à celui de l'assemblage sans que les pièces ne se séparent.

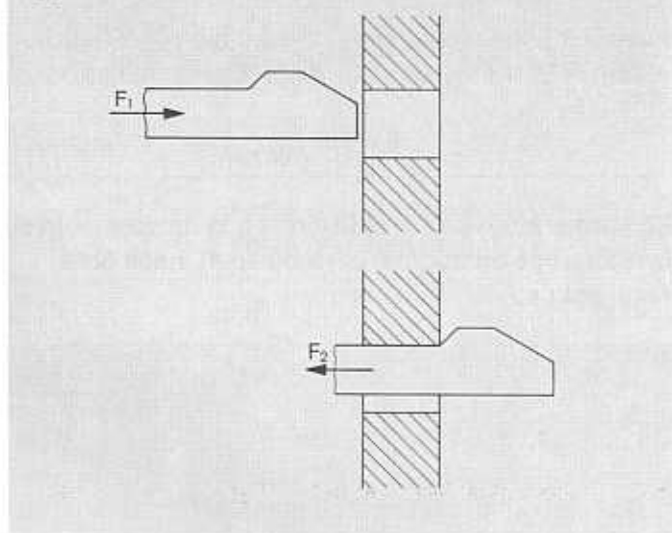
On fait souvent en sorte que la force  $F$  s'exerce sur l'assemblage perpendiculairement à la direction d'encliquetage (fig. 18); dans ces conditions, ce n'est pas la force de retenue  $F_2$  mais la résistance à la rupture ou au cisaillement au point faible qui détermine la cohésion de l'assemblage. Cette possibilité est utilisée surtout avec les assemblages à rotule.

Figure 18



### 5.1 Crochets élastiques

Figure 19







La force d'assemblage  $F_1$  et/ou force de retenue  $F_2$  (fig. 19) se calcule à partir de l'équation

$$F_{1,2} = \frac{3H \cdot E_s \cdot J}{l^3} \cdot \frac{\mu + \operatorname{tg} \alpha_{1,2}}{1 - \mu \cdot \operatorname{tg} \alpha_{1,2}} \quad [\text{N}] \quad (16)$$

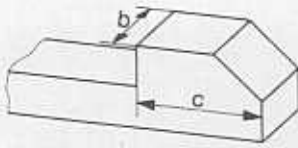
$H$	hauteur d'encliquetage	[mm]
$E_s$	module sécant	[N/mm <sup>2</sup> ] (fig. 14)
$J$	moment d'inertie	[mm <sup>4</sup> ] (tab. 3)
$l$	longueur du crochet	[mm]
$\mu$	coefficient de frottement	(tab. 2)
$\alpha_1$	angle d'assemblage	
$\alpha_2$	angle de retenue	

Tableau 3

Section des crochets	Moment d'inertie (mm <sup>4</sup> )
Rectangle 	$\frac{b \cdot h^3}{12}$ avec $b =$ largeur de crochet [mm] $h =$ hauteur de crochet [mm]
Demi-cercle 	$0,110 r^4$
Tiers de cercle 	$0,0522 r^4$
Quart de cercle 	$0,0508 r^4$

Pour un angle de retenue  $\alpha_2 = 90^\circ$ , la force de retenue s'obtient à partir de la surface contrainte en cisaillement et de la résistance au cisaillement  $\tau$  de la matière plastique utilisée.

Figure 20



$$\tau = \frac{F_2}{b \cdot c} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (17)$$

En faisant intervenir la résistance à la rupture  $\sigma_R$  et/ou la résistance en traction  $\sigma_B$  (tableau 4), nous obtenons pour  $\tau$ :

$$\tau = 0,6 \cdot \sigma_R \quad (18)$$

$$\text{ou } \tau = 0,6 \cdot \sigma_B \quad (19)$$

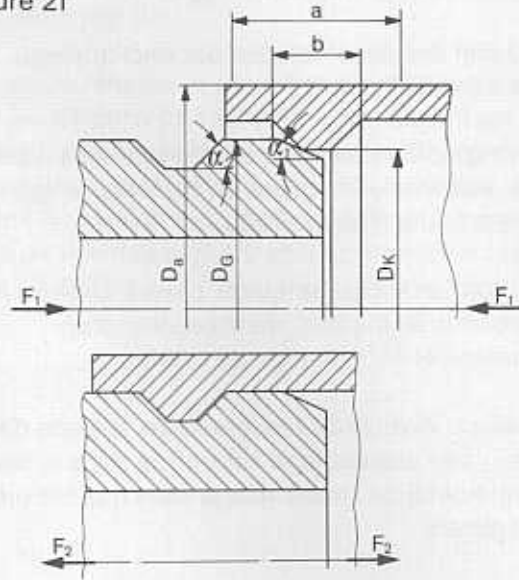
$$F_2 = A \cdot \tau = b \cdot c \cdot \tau \quad [\text{N}] \quad (20)$$

Tableau 4

Matériaux	Résistance à la rupture $\sigma_R$ ou Résistance en traction $\sigma_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Hostaform C 27021	72
Hostaform C 13021 u. C VP 13031	75
Hostaform C 9021	73
Hostaform C 2521	70
Hostaform T 1020	68
Hostaform C 9021 GV 1/30	130
Hostaform C 9021 M	72
Hostaform C 9021 K	72
Hostaform C 9021 TF	53
Hostalen PPT VP 7090 AV 40	34
Hostalen PPN VP 7180 TV 20	33
Hostalen PPN VP 7190 TV 40	33
Hostalen PPN VP 7780 GV 20	32
Hostalen PPN VP 7790 GV 1/30	42
Hostalen PPN VP 7790 GV 2/30	71
Hostalen PPN VP 7780 GV 3/20	28
Hostalen GC VP 7260 GV 1/20	30

## 5.2 Assemblages cylindriques

Figure 21



A la différence des crochets, la force d'assemblage  $F_1$  et/ou la force de retenue  $F_2$  des assemblages par encliquetage cylindriques ne peut être estimée que grossièrement. En effet, on ignore quelle longueur  $a$  (fig. 21) se déforme simultanément, lors de l'assemblage des pièces, et conduit par conséquent à une augmentation de la force de l'assemblage  $F_1$ . La longueur  $a$  est influencée tant par l'épaisseur de paroi de la pièce extérieure que par la hauteur de la contre-dépouille  $H$ . La pratique montre que l'on peut retenir pour  $a$  le double de la largeur  $b$  du renflement.

La force d'assemblage  $F_1$  et/ou la force de retenue  $F_2$  se calcule d'après l'équation:

$$F_{1,2} = p \cdot \pi \cdot D_G \cdot 2b \frac{\mu + \text{tg } \alpha_{1,2}}{1 - \mu \text{tg } \alpha_{1,2}} \quad [\text{N}] \quad (21)$$

- $p$  pression d'assemblage [N/mm<sup>2</sup>]
- $D_G$  diamètre extérieur de la pièce intérieure [mm]
- $b$  largeur du renflement [mm]
- $\mu$  coefficient de frottement (tab. 2)
- $\alpha_1$  angle d'assemblage
- $\alpha_2$  angle de retenue

Entre la hauteur d'encliquetage  $H$  et la pression d'assemblage  $p$ , il existe la relation

$$p = \frac{H}{D_K} E_s \cdot \frac{1}{K} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (22)$$

$D_K$  plus petit diamètre admissible pour la pièce extérieure [mm]

Le coefficient de forme  $K$  dépend des dimensions de l'assemblage.

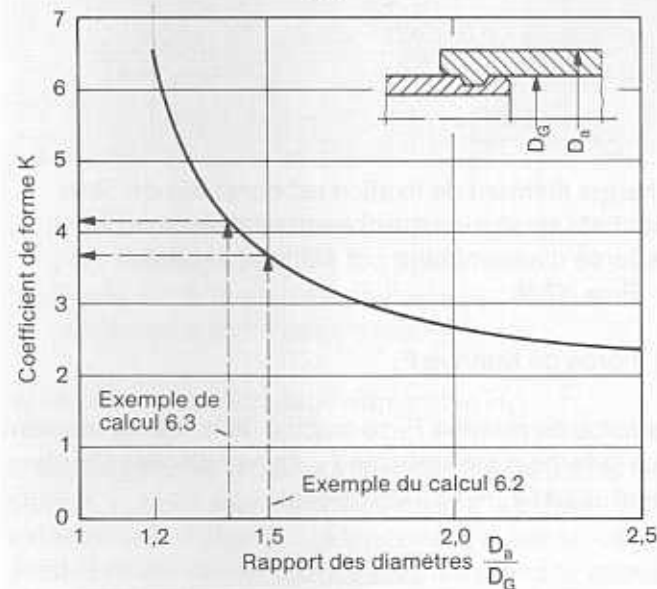
On a:

$$K = \frac{\left(\frac{D_a}{D_G}\right)^2 + 1}{\left(\frac{D_a}{D_G}\right)^2 - 1} + 1 \quad (23)$$

$D_a$  Diamètre extérieur de la pièce extérieure [mm]  
 $D_G$  Diamètre extérieur de la pièce intérieure [mm]

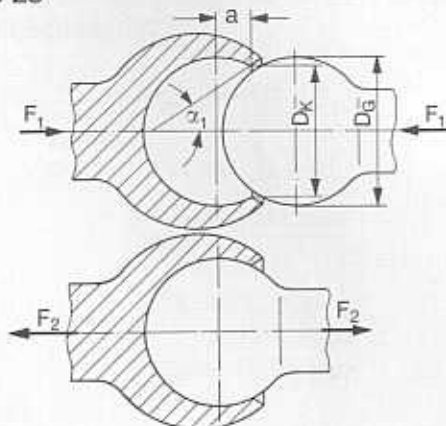
On admet alors que la hauteur totale d'encliquetage  $H$  est obtenue par élargissement de la pièce extérieure. Si la pièce intérieure a une paroi mince, elle se déforme également, mais de manière négligeable, compte tenu de ce qui précède. La figure 22 représente le coefficient de forme  $K$  en fonction du rapport de diamètre  $D_a/D_G$ .

Figure 22: Coefficient de forme  $K$  en fonction du rapport des diamètres  $\frac{D_a}{D_G}$ .



### 5.3 Assemblages à rotule

Figure 23



Dans ce cas (fig. 23), l'angle d'assemblage  $\alpha_1$  et l'angle de retenue  $\alpha_2$ , et par suite la force d'assemblage  $F_1$  et celle de retenue  $F_2$ , sont identiques.

L'angle d'assemblage et/ou de retenue varie, en fonction de l'allongement, entre  $8^\circ$  ( $\varepsilon = 1\%$ ) et  $16^\circ$  ( $\varepsilon = 4\%$ ).

Tableau 5

$\varepsilon = \frac{H}{D_K} \cdot 100\%$	Angle d'assemblage $\alpha_1$ Angle de retenue $\alpha_2$	$\frac{a}{D_G}$
1	$8^\circ$	0,14
2	$11,5^\circ$	0,2
3	$14^\circ$	0,25
4	$16^\circ$	0,28

L'estimation de la force d'assemblage et/ou de retenue fait intervenir les équations des assemblages par encliquetage cylindriques:

$$F_1 = F_2 = p \cdot \pi \cdot D_G^2 \cdot \frac{a}{D_G} \cdot \frac{\mu + \operatorname{tg} \alpha}{1 - \mu \operatorname{tg} \alpha} \quad [\text{N}] \quad (24)$$

$p$  pression d'assemblage [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]  
 $D_G$  diamètre de la rotule [mm]  
 $\frac{a}{D_G}$  largeur portante rapportée au diamètre de la rotule (tabl. 5)  
 $\mu$  coefficient de frottement (tabl. 2)  
 $\alpha$  angle d'assemblage et/ou de retenue

Entre la hauteur d'encliquetage  $H$  et la pression d'assemblage  $p$  existe la relation (22):

$$p = \frac{H}{D_K} \cdot E_s \cdot \frac{1}{K} \quad [\text{N}/\text{mm}^2]$$

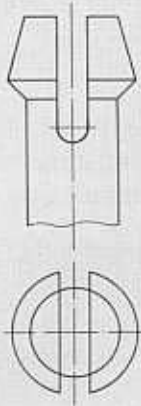
$H$  hauteur d'encliquetage [mm]  
 $D_K$  diamètre d'ouverture [mm]  
 $E_s$  module sécant [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ] (fig. 14)  
 $K$  coefficient de forme (fig. 22)

## 6. Exemples de calcul

### 6.1 Crochet élastique

Les platines d'une minuterie doivent être assemblées de manière démontable à l'aide de deux écarteurs en diagonale et de crochets élastiques. Diamètre des trous dans la platine supérieure  $D_K = 8$  mm. Force de retenue exigée par crochet  $F_2 = 50$  N. Le crochet doit être moulé par injection à partir d'Hostaform C 9021 et avoir une section circulaire fendue (fig. 24).

Figure 24



- Quelles dimensions donner au crochet d'encliquetage?
- Quelle est la force d'assemblage  $F_1$ , nécessaire?
- Quelle sera la force de retenue  $F_2$ ?

a) L'allongement maximal retenu pour la fibre extérieure est  $\varepsilon_{\max} = 1\%$ . Pour la section semi-circulaire, on a, conformément à l'équation (10):

$$H = 0,578 \cdot \frac{l^2}{r} \cdot \varepsilon_{\max}$$

$$r = \frac{D_K}{2} = 4 \text{ mm}$$

$$l = 15 \text{ mm choisi}$$

$$H = 0,578 \cdot \frac{15^2}{4} \cdot 0,01$$

$$H = 0,3 \text{ mm}$$

Le diamètre de la contre-dépouille est égal à  $D_K + 2H = 8,6$  mm. On retiendra une largeur de fente de 1 mm, un angle d'assemblage  $\alpha_1 = 30^\circ$  et un angle de retenue  $\alpha_2 = 45^\circ$ .

b) Force d'assemblage  $F_1$

La force d'assemblage  $F_1$  est donnée par l'équation (16):

$$F_1 = \frac{3H \cdot E_s \cdot J}{l^3} \cdot \frac{\mu + \tan \alpha_1}{1 - \mu \cdot \tan \alpha_1}$$

$$H = 0,3 \text{ mm}$$

$$E_s = 2800 \text{ N/mm}^2 \text{ (fig. 14)}$$

On admet, conformément au tableau 2, que le coefficient de frottement entre l'Hostaform et l'acier est  $\mu = 0,2$ .

Le tableau 3 nous donne pour la section semi-circulaire:

$$J = 0,110 r^4 = 0,11 \cdot 4^4 = 28,2 \text{ mm}^4$$

On peut alors calculer la force d'assemblage  $F_1$ :

$$F_1 = \frac{3 \cdot 0,3 \cdot 2800 \cdot 28,2}{15^3} \cdot \frac{0,2 + 0,577}{1 - 0,2 \cdot 0,577}$$

$$F_1 = 18,5 \text{ N}$$

Chaque élément de fixation est constitué de deux crochets élastiques qui doivent se déformer de  $H$ . La force d'assemblage par élément est donc  $2 \cdot F_1 = 37$  N.

c) Force de retenue  $F_2$

La force de retenue  $F_2$  se calcule de la même manière que la force d'assemblage  $F_1$ , en remplaçant simplement  $\alpha_1$  par  $\alpha_2 = 45^\circ$ . On obtient:

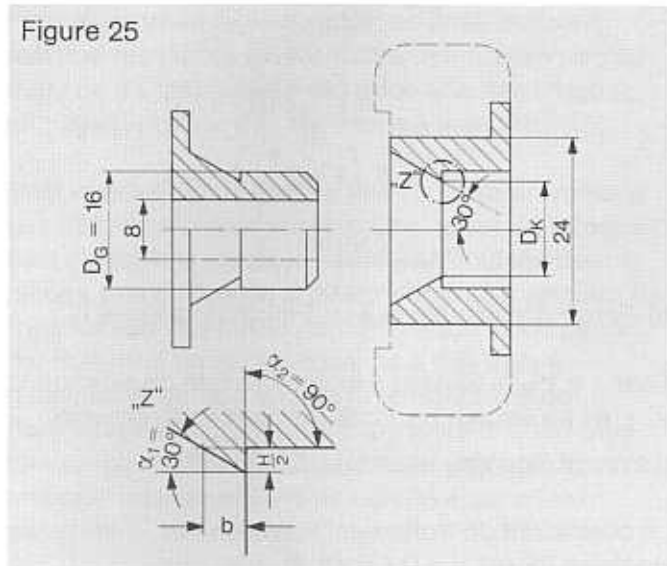
$$F_2 = 31,6 \text{ N}$$

La force de retenue par élément est  $2 \cdot 31,6 \approx 63$  N; elle est donc supérieure à la force de retenue exigée: 50 N.

## 6.2 Assemblages cylindriques

La jante d'une roue avec pneu en caoutchouc doit être composée de deux parties et l'assemblage doit être indémontable (fig. 25). En raison de la contrainte relativement élevée et du contact direct de la roue avec un axe en acier, il faut choisir l'Hostaform.

Figure 25



- Quelles dimensions sont à prévoir (hauteur d'encliquetage H)?
- Quelle est la force d'assemblage  $F_1$  nécessaire?
- Quelle est la force de retenue  $F_2$ ?

a) Hauteur d'encliquetage admissible  $H_{adm}$

Pour le calcul de la hauteur d'encliquetage admissible  $H_{adm}$ , nous admettrons que seule la pièce extérieure se déforme. L'allongement maximal se produit au niveau du diamètre  $D_K$  qui prend la valeur  $D_G = 16$  mm au moment de l'assemblage. L'allongement admissible pour l'Hostaform est  $\epsilon_{adm} = 4\%$ , conformément au tableau 1.

La hauteur d'encliquetage admissible est alors, suivant l'équation (13):

$$\begin{aligned} H_{adm} &= \frac{\epsilon_{adm}}{100} \cdot D_G \\ &= \frac{4}{100} \cdot 16 \\ \underline{H_{adm} &= 0,64 \text{ mm}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_K &= D_G - H \\ &= 16 - 0,64 \\ \underline{D_K &= 15,36 \text{ mm}} \end{aligned}$$

Il faudra donc retenir le diamètre  $D_K = 15,4$  mm.

b) Force d'assemblage nécessaire  $F_1$

La force d'assemblage  $F_1$  est donnée par l'équation (20):

$$F_1 = p \cdot \pi \cdot D_G \cdot 2b \frac{\mu + \operatorname{tg} \alpha_1}{1 - \mu \cdot \operatorname{tg} \alpha_1}$$

L'angle d'assemblage  $\alpha_1$  est de  $30^\circ$ . Le coefficient de frottement admis entre l'Hostaform et l'acier est  $\mu = 0,2$  (tabl. 2). La largeur  $b$  de la contre-dépouille peut être calculée à partir de l'angle d'assemblage  $\alpha_1$  et de la hauteur d'encliquetage  $H$ :

$$\begin{aligned} b &= \frac{H}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1} \\ &= \frac{H}{2 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ} \\ &= \frac{0,64}{2 \cdot 0,577} \\ \underline{b &= 0,55 \text{ mm}} \end{aligned}$$

La pression d'assemblage  $p$  se calcule à l'aide de l'équation (22)

$$p = \frac{H}{D_K} E_s \cdot \frac{1}{K}$$

Pour  $\frac{D_G}{D_K} = \frac{24}{16} = 1,5$ ,  $K = 3,6$  d'après la figure 22.

Le module sécant correspondant à  $\epsilon_{adm} = 4\%$  est pour l'Hostaform  $E_s = 1800$  N/mm<sup>2</sup> (fig. 14).

On peut alors calculer la pression d'assemblage:

$$\begin{aligned} p &= 0,04 \cdot \frac{1800}{3,6} \\ \underline{p &= 20 \text{ N/mm}^2} \end{aligned}$$

La force d'assemblage  $F_1$  est

$$\begin{aligned} F_1 &= 20 \cdot \pi \cdot 16 \cdot 2 \cdot 0,55 \frac{0,2 + 0,577}{1 - 0,2 \cdot 0,577} \\ \underline{F_1 &= 970,8 \text{ N}} \end{aligned}$$

c) Force de retenue  $F_2$

L'angle de retenue étant  $\alpha_2 = 90^\circ$ , l'assemblage est indémontable. La force nécessaire à la séparation des deux pièces s'obtient à partir de la résistance au cisaillement  $\tau$  et de la surface  $A$  contrainte en cisaillement (surface de cisaillement).

D'après l'équation (19), la résistance au cisaillement est:

$$\tau = 0,6 \cdot \sigma_B$$

$\sigma_B = 70 \text{ N/mm}^2$  par ex. pour l'Hostaform C 2521 (tabl. 4)

$$\tau = 0,6 \cdot 70$$

$$\tau = 42 \text{ N/mm}^2$$

La surface de cisaillement est dans ce cas

$$A = \pi \cdot D_G \cdot b$$

$$= \pi \cdot 16 \cdot 0,55$$

$$A = 27,6 \text{ mm}^2$$

Ainsi, la force de retenue est conformément à l'équation (20):

$$F_2 = A \cdot \tau$$

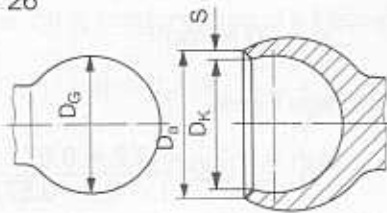
$$= 27,6 \cdot 42$$

$$F_2 = 1159 \text{ N}$$

### 6.3 Assemblage à rotule

Sans une voiture de tourisme, le mouvement de la pédale de l'accélérateur est transmis au carburateur par l'intermédiaire d'une tige. Celle-ci est articulée par une rotule (fig. 26) en Hostalen PPN VP 7790 GV 2/30 qui exige une force de retenue  $F_2$  d'au moins 150 N. Diamètre de la rotule  $D_G = 8 \text{ mm}$ , diamètre extérieur  $D_a = 11 \text{ mm}$ .

Figure 26



- Quel doit être le diamètre d'ouverture  $D_K$ ?
- Quelles forces d'assemblage  $F_1$  et de retenue  $F_2$  en résulte-t-il?

a) Diamètre d'ouverture  $D_K$

D'après le tableau 1, la déformation admissible pour l'Hostalen PPN VP 7790 GV 2/30  $\varepsilon_{adm} = 1\%$ .

Si l'on applique la relation (8), on obtient:

$$\varepsilon = \frac{D_G - D_K}{D_G} \cdot 100$$

$$D_K = D_G \left( 1 - \frac{\varepsilon}{100} \right)$$

$$= 8 \left( 1 - \frac{1}{100} \right)$$

$$\underline{D_K = 7,9 \text{ mm}}$$

b) Force d'assemblage  $F_1 =$  Force de retenue  $F_2$

Pour  $\varepsilon = 1\%$ , le tableau 5 indique l'angle de retenue  $\alpha_2 = 8^\circ$ . La largeur portante rapportée au diamètre d'assemblage est, selon tabl. 5,  $\frac{a}{D_G} = 0,14$ .

Le coefficient de frottement Hostalen PP/ Hostalen PP est  $\mu = 0,4$  (tabl. 2).

Pour  $\frac{D_a}{D_G} = \frac{11}{8} = 1,38$   $K = 4,2$  (fig. 22)

D'après la figure 14, le module sécant de l'Hostalen PPN VP 7790 GV 2/30 correspondant à  $\varepsilon = 1\%$  est

$$E_s = 4400 \text{ N/mm}^2$$

La pression d'assemblage calculée à partir de la relation (22) avec  $H = D_G - D_K$  est:

$$p = \frac{H}{D_K} \cdot E_s \cdot \frac{1}{K}$$

$$= 0,01 \cdot 4400 \cdot \frac{1}{4,2}$$

$$p = 10,5 \text{ N/mm}^2$$

La force d'assemblage ou de retenue est par conséquent (équation 24)

$$F_{1,2} = p \cdot \pi \cdot D_G^2 \cdot \frac{a}{D_G} \cdot \frac{\mu + \operatorname{tg} \alpha}{1 - \mu \cdot \operatorname{tg} \alpha}$$

$$= 10,5 \cdot \pi \cdot 8^2 \cdot 0,14 \cdot \frac{0,4 + 0,14}{1 + 0,4 \cdot 0,14}$$

$$\underline{F_{1,2} = 151 \text{ N}}$$



## 7. Démoulage des pièces d'assemblage par encliquetage

La contre-dépouille, sur laquelle repose le principe de l'encliquetage, doit pouvoir se démouler aussi facilement que possible; la question se pose donc de savoir si les pièces peuvent être démoulées directement ou s'il faut prévoir des coquilles, des tiroirs ou un noyau movable dans le moule à injection.

Il est impossible de donner une réponse universelle. Les déformations admissibles indiquées au tableau 1 sont également valables pour le démoulage des pièces. Les difficultés proviennent le plus souvent de l'application des forces de démoulage sur la pièce, conduisant à un étirage local ou à des traces d'éjecteurs, etc. Le fait que la température de démoulage soit nettement supérieure à la température ambiante est un autre point négatif, car la matière manque encore de rigidité à cette température.

Dans le cas des assemblages par encliquetage cylindriques, il ne faut pas oublier qu'une pièce tubulaire résiste mieux à une compression qu'à un allongement. La pièce extérieure d'un assemblage par encliquetage (fig. 27 en haut) se démoule en général plus facilement que la pièce intérieure. Dans certains cas, le plan de joint du moule passe par une arête de la contre-dépouille, par ex. dans le cas d'un cylindre creux interrompu comportant un bourrelet faisant saillie à l'intérieur (fig. 27 en haut) ou encore dans le cas d'un bourrelet moulé faisant saillie à l'extérieur (fig. 27 en bas).

Dans le cas plus fréquent d'un trou borgne (fig. 28), l'intérieur et l'extérieur de la contre-dépouille doivent être démoulés l'un après l'autre. Après l'ouverture du moule (position A), la petite roue est éjectée de la cavité du moule par les éjecteurs 3, en entraînant le poinçon 2 jusqu'à ce que la butée 4 vienne toucher (position B). En continuant à se déplacer, les éjecteurs séparent la petite roue du poinçon. L'allongement du moyeu de la valeur de la contre-dépouille ne pose pas de problème (position C).

Figure 27

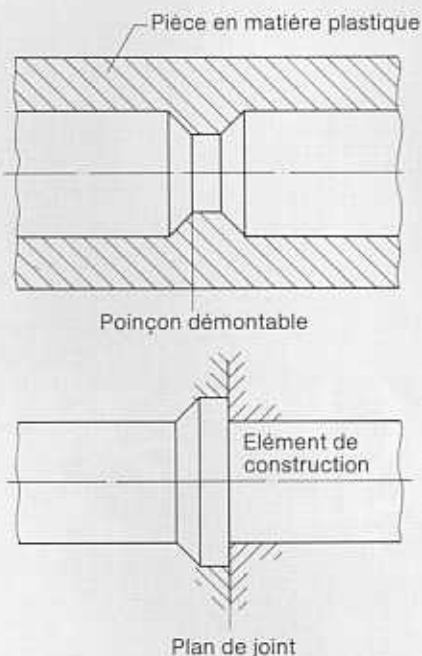
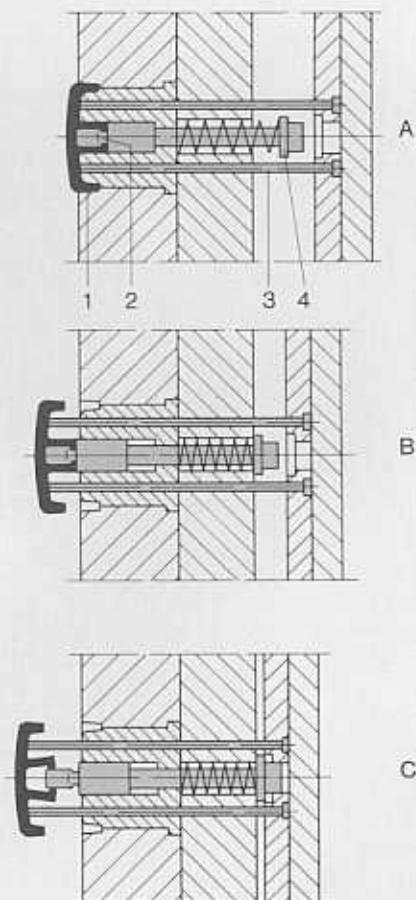


Figure 28



## 8. Exemples d'applications

### 8.1 Crochets élastiques

La photo n°1 montre des exemples d'assemblages avec déformabilité de l'assemblage cylindrique améliorée par des fentes. En haut, on voit deux roulettes avec paliers en Hostaform pour lave-vaisselle. Dans le cas de la roulette de gauche, chaque crochet fléchit de  $f = 0,75$  mm au moment de l'assemblage. Avec une longueur  $l = 7$  mm et une hauteur  $h = 2,5$  mm, l'allongement maximal du crochet à la base est

$$\epsilon = \frac{3}{2} \cdot \frac{f \cdot h}{l^2} = 0,058 = 5,8\%$$

La partie inférieure de la figure montre la fixation d'un coussinet en Hostaform. La fixation axiale est assurée à une extrémité par les crochets élastique et à l'autre extrémité par une bride. Un aplatissement de la bride empêche la pièce de tourner.

Pour tous les exemples représentés, l'angle d'assemblage  $\alpha_1 = 45^\circ$  et l'angle de retenue  $\alpha_2 = 90^\circ$ ; les assemblages sont indémontables.

La photo 2 représente des agrafes en Hostaform qui facilitent énormément le montage notamment dans la fabrication en série. Les pièces 1, 2 et 3 sont utilisées pour la fixation du garnissage intérieur d'automobiles. La pièce 4 est un support de câble par ex. pour machine à laver et lave-vaisselle. Le clips 5 a une fonction identique; l'assemblage par encliquetage est consolidé par une broche (rivet d'écartement). Les pinces d'enjoliveurs de carrosserie pour voitures de tourisme (6) sont fixées selon le même principe. La pièce 7 est une fixation de charnière pour le couvercle de la boîte à lessive d'une machine à laver.

Photo 1

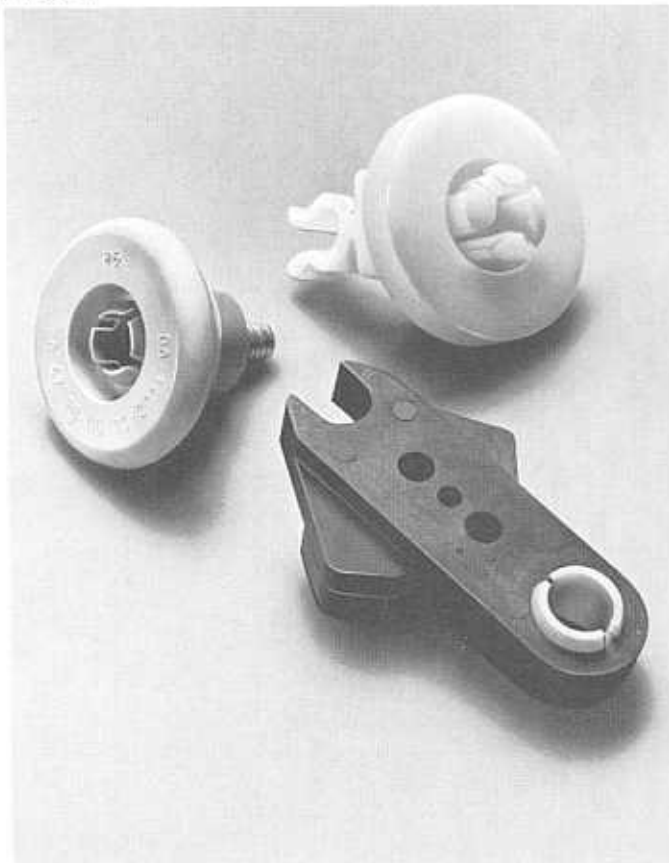
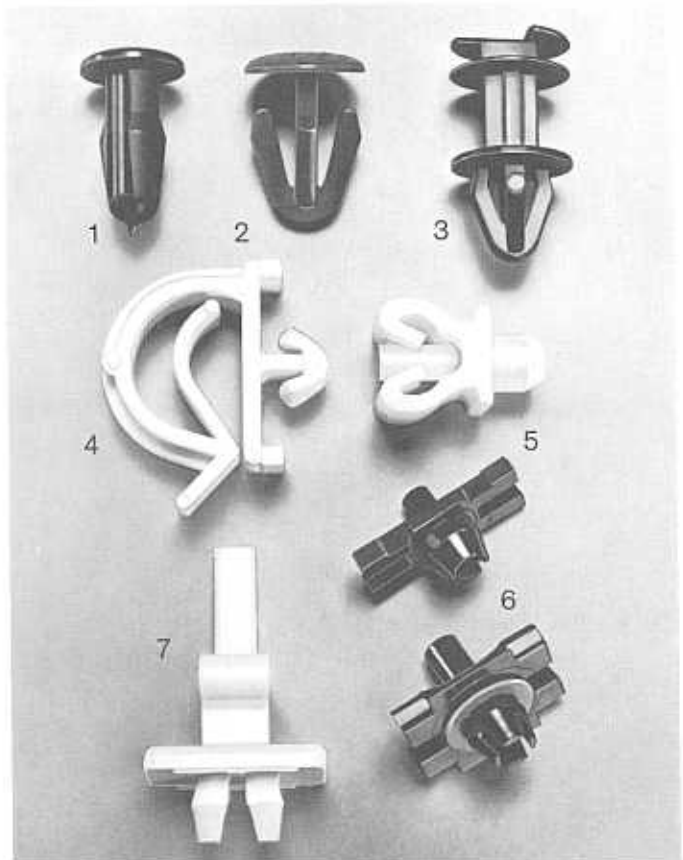


Photo 2



La photo 3 représente un autre exemple d'application dans la construction automobile: un carter de contacteur en Hostaform encliqueté dans la planche de bord. La pièce est réalisée en deux parties symétriques s'emboîtant l'une dans l'autre.

La photo 4 représente un levier de déverrouillage en Hostaform pour le couvercle du coffre d'une voiture de tourisme; il est fixé à l'aide de deux crochets à ressort.

La photo 5 montre que des pièces de carter non cylindriques peuvent également être assemblées à l'aide de crochets d'encliquetage. On voit sur cette photo une conduite d'amenée au filtre à air, en Hostalen PPN VP 7780 GV 20. Lors de l'assemblage des deux parties du carter, ce ne sont pas les crochets qui plient mais la pièce réceptrice qui subit une déformation élastique.

Photo 3

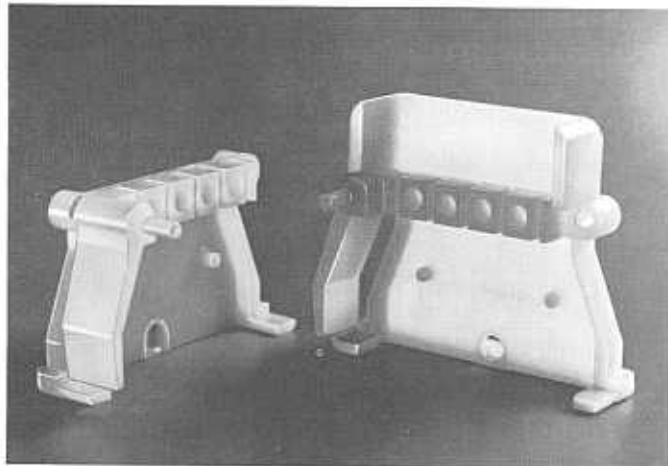


Photo 4

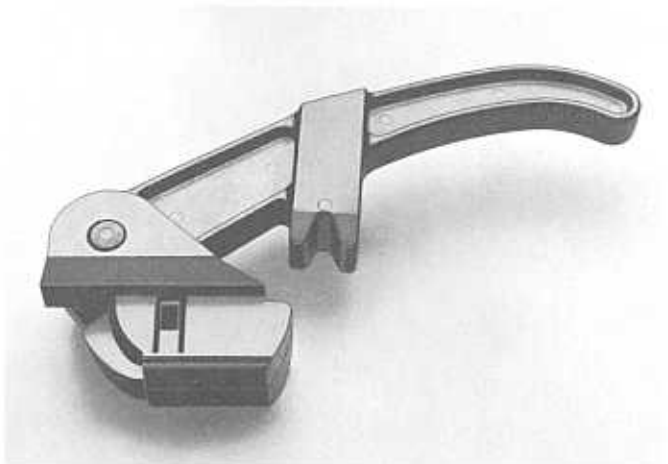
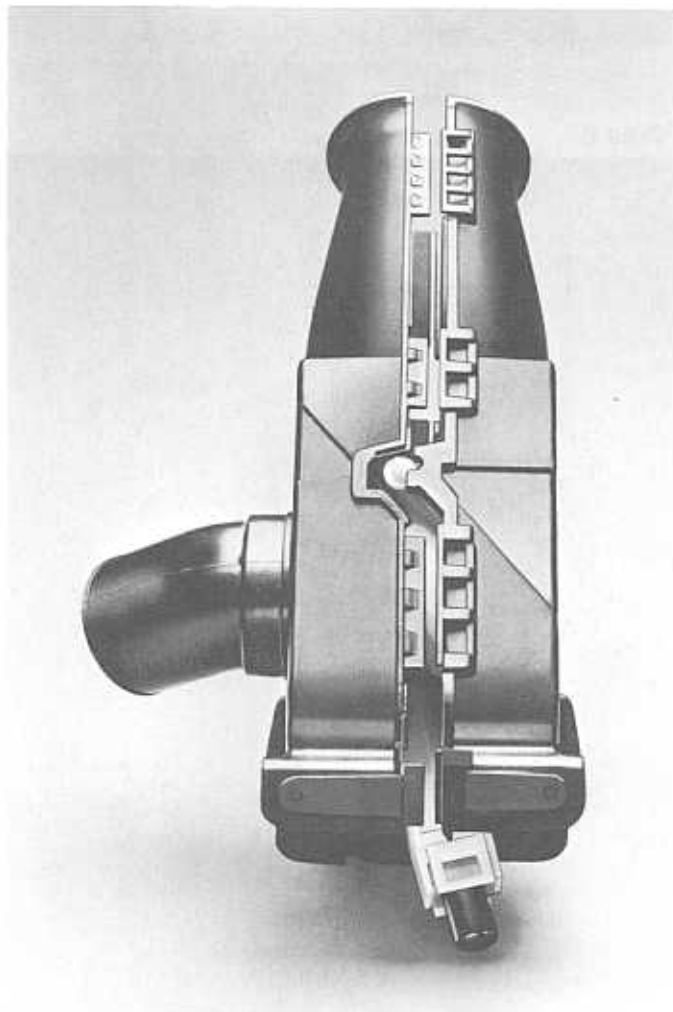


Photo 5



## 8.2 Assemblages cylindriques

La photo 6 représente un boîtier pour système de commande pneumatique de volets de climatiseurs. Les deux parties du boîtier en Hostaform sont assemblées par encliquetage, ce qui permet de fixer simultanément une membrane moulée comportant un joint torique qui est maintenu dans la rainure du joint. Pression de service 0,2 à 0,8 bar. Hauteur d'encliquetage  $H = 86,5 - 84 = 2,5$  mm. Par suite de la différence d'épaisseur de paroi entre la pièce extérieure et la pièce intérieure, l'allongement de la pièce extérieure est plus importante que la compression de la pièce intérieure. La différence de diamètre est répartie sur la pièce extérieure qui se déforme de 1,56 mm et sur la pièce intérieure qui se comprime de 0,94 mm.

La photo 7 représente le régulateur de pression d'une voiture de tourisme, construit sur le même principe que le système de l'exemple précédent. Il fonctionne sous l'effet de la dépression au carburateur. Une membrane de caoutchouc est également emprisonnée entre les deux parties du carter.

Diamètre d'assemblage  $D_G = 60,8$  mm, hauteur d'encliquetage  $H = 1,6$  mm. En admettant que seule la pièce extérieure se déforme lors de l'assemblage, l'allongement maximal admissible est:

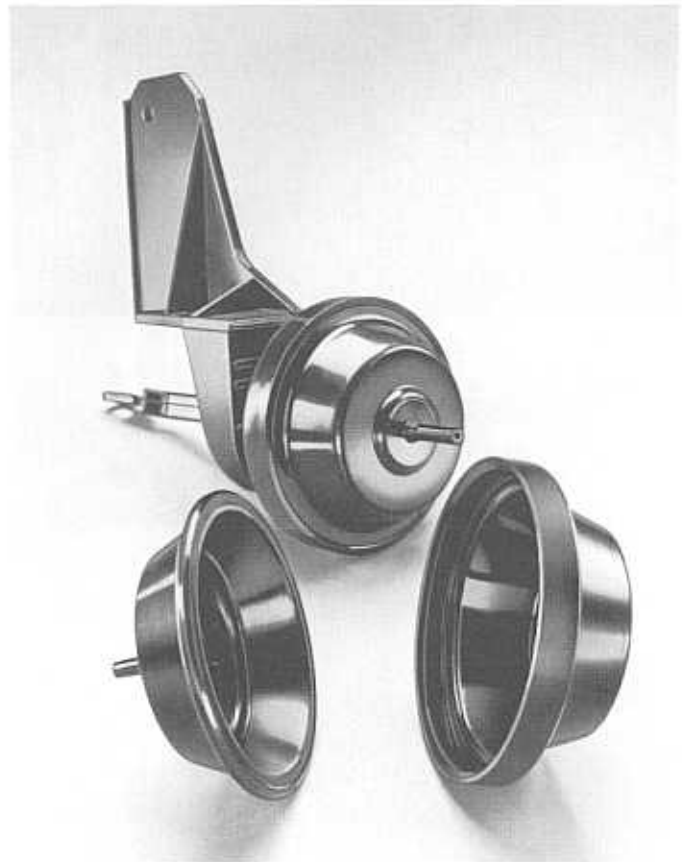
$$\varepsilon = \frac{1,6}{60,8} \cdot 100 = 2,6\%$$

L'angle d'assemblage est  $\alpha_1 = 45^\circ$ , l'angle de retenue est  $\alpha_2 = 45^\circ$ .

Photo 6



Photo 7



### 8.3 Assemblages à rotule

La photo représente des pièces de la tringlerie de carburateur en Hostaform. La rotule de diamètre  $D_G = 7,8$  mm est logée dans une calotte sphérique dont le diamètre mesure 7,85 mm. La particularité de cet assemblage est que l'ouverture de la calotte n'est pas circulaire mais elliptique. Le grand axe de l'ellipse correspond au diamètre de la rotule  $D_G = 7,8$  mm, son petit axe a 7,5 mm de longueur. Dans cette direction, la différence de diamètre est:

$$H = 7,8 - 7,5 = 0,3 \text{ mm}$$

Si l'on admet que la différence de diamètre se répartit régulièrement à la périphérie, l'allongement au moment de l'assemblage des pièces est:

$$\epsilon = \frac{0,3}{2 \cdot 7,5} \cdot 100 = 2\%$$

Photo 8



## 9. Symboles utilisés

Symboles	Unité de mesure	Explication
A	mm <sup>2</sup>	Surface
a	mm	largeur portante (assemblages à rotule)
D <sub>o</sub>	mm	Diamètre extérieur de la pièce extérieure
D <sub>G</sub>	mm	Diamètre extérieur de la pièce intérieure (assemblages par encliquetage cylindriques)
	mm	Diamètre de la rotule (assemblage à rotule)
D <sub>x</sub>	mm	Diamètre minimal de la pièce extérieure (assemblage par encliquetage cylindrique)
	mm	Diamètre d'ouverture (assemblage à rotule)
E <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Module sécant (fig. 14)
F <sub>1</sub>	N	Force d'assemblage
F <sub>2</sub>	N	Force de retenue
h	mm	Hauteur de crochet (crochet élastique)
H	mm	Hauteur de la contre-dépouille (hauteur d'encliquetage)
H <sub>adm</sub>	mm	Hauteur d'encliquetage admissible
J	mm <sup>4</sup>	moment d'inertie (tabl. 3)
K		Coefficient de forme (fig. 22)
L <sub>1</sub> - L <sub>2</sub>	mm	Différence entre l'arête extérieure du crochet et l'arête intérieure de l'évidement
l	mm	Longueur de crochet (crochet élastique)
p	N/mm <sup>2</sup>	Pression d'assemblage
		$p = \frac{H}{D_K} \cdot E_s \cdot \frac{1}{K}$
α <sub>1</sub>	°	Angle d'assemblage
α <sub>2</sub>	°	Angle de retenue
ε	%	Allongement
ε <sub>adm</sub>	%	Allongement admissible
μ		Coefficient de frottement (tabl. 2)
σ <sub>B</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Résistance en traction (tabl. 4)
σ <sub>R</sub>	N/mm <sup>2</sup>	Résistance à la rupture (tabl. 4)
τ	N/mm <sup>2</sup>	Résistance au cisaillement

## 10. Bibliographie

H. Schmidt: Fügen durch Schnappverbindungen, VDI-Z (Assemblages par encliquetage), Cahier VDI-Z numéro 5, 1972

K. Oberbach, D. Schauf: Schnappverbindungen aus Kunststoff, 1977 (Assemblages par encliquetage de pièces en matière plastique), Verbindungstechnik, N° 6, 7 et 8, 1977

W. W. Chow: Snap-fit design concepts (Conception des assemblages par encliquetage), Modern Plastics International, Août 1977