

ERIKS

ERIKS

ERI

**SIMONA**

RIKS

ERIKS

ERIKS



ERIKS

ERIKS

ERI

Instructions de transformation

08/92

Formage sous vide, formage à chaud, pliage

RIKS

ERIKS

ERIKS

## **Table des matières**

### **1. Généralités**

- 1.1 Matières thermoplastiques amorphes
- 1.2 Matières thermoplastiques semi-cristallines

### **2. Formage sous vide (thermoformage)**

- 2.1 Valeurs indicatives pour le thermoformage des matériaux SIMONA
- 2.2 Formage en moule convexe et en moule concave
- 2.3 Outils
- 2.4 Préchauffage
- 2.5 Influence du sens d'extrusion
- 2.6 Influence du chauffage
- 2.7 Calcul de l'épaisseur de paroi de pièces thermoformées

### **3. Formage à chaud**

### **4. Pliage**

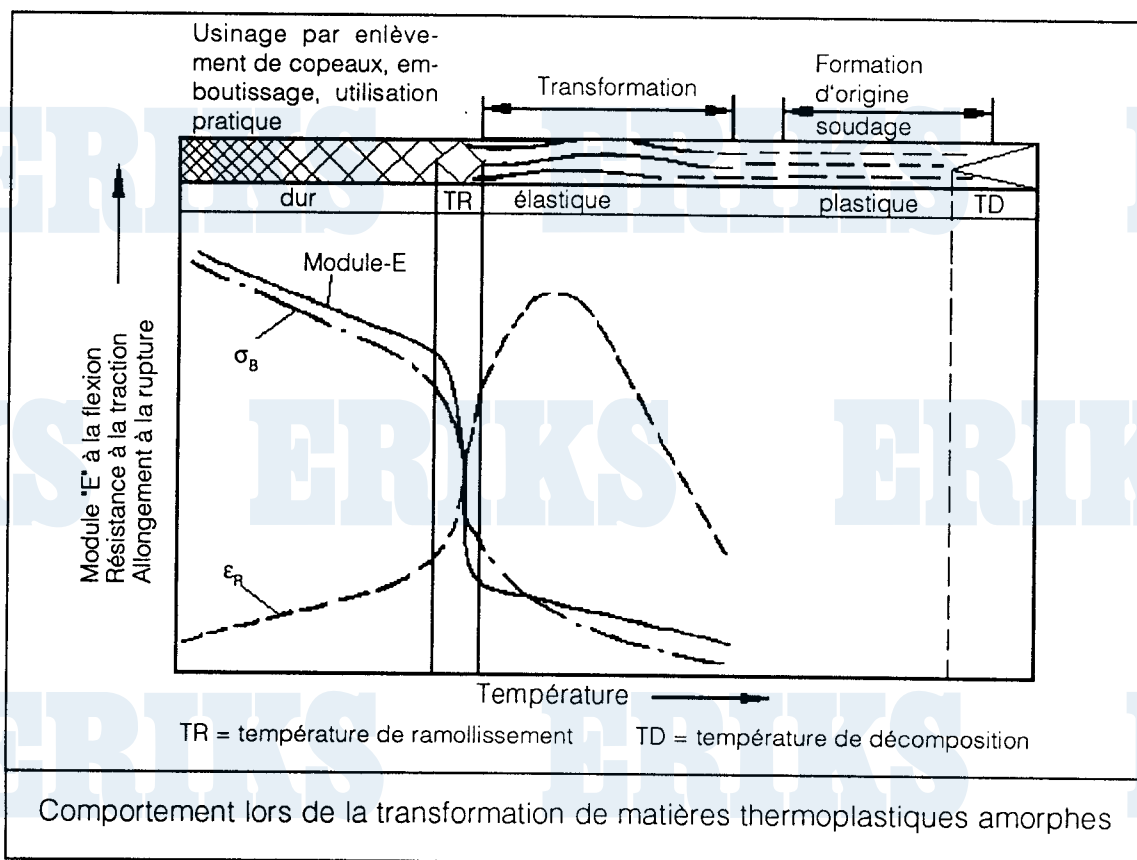
### **5. Conseil**

## 1. Généralités

La connaissance du comportement de matières thermoplastiques lors de la transformation a une importance fondamentale pour le formage sous vide, le formage à chaud et le pliage. Les matières thermoplastiques deviennent, comme leur nom l'indique, molles et déformables sous l'influence de la chaleur. Après refroidissement, elles restent dans la forme adoptée sous l'effet de la chaleur. On doit tenir compte des caractéristiques du matériau plastique utilisé pour choisir le procédé de formage.

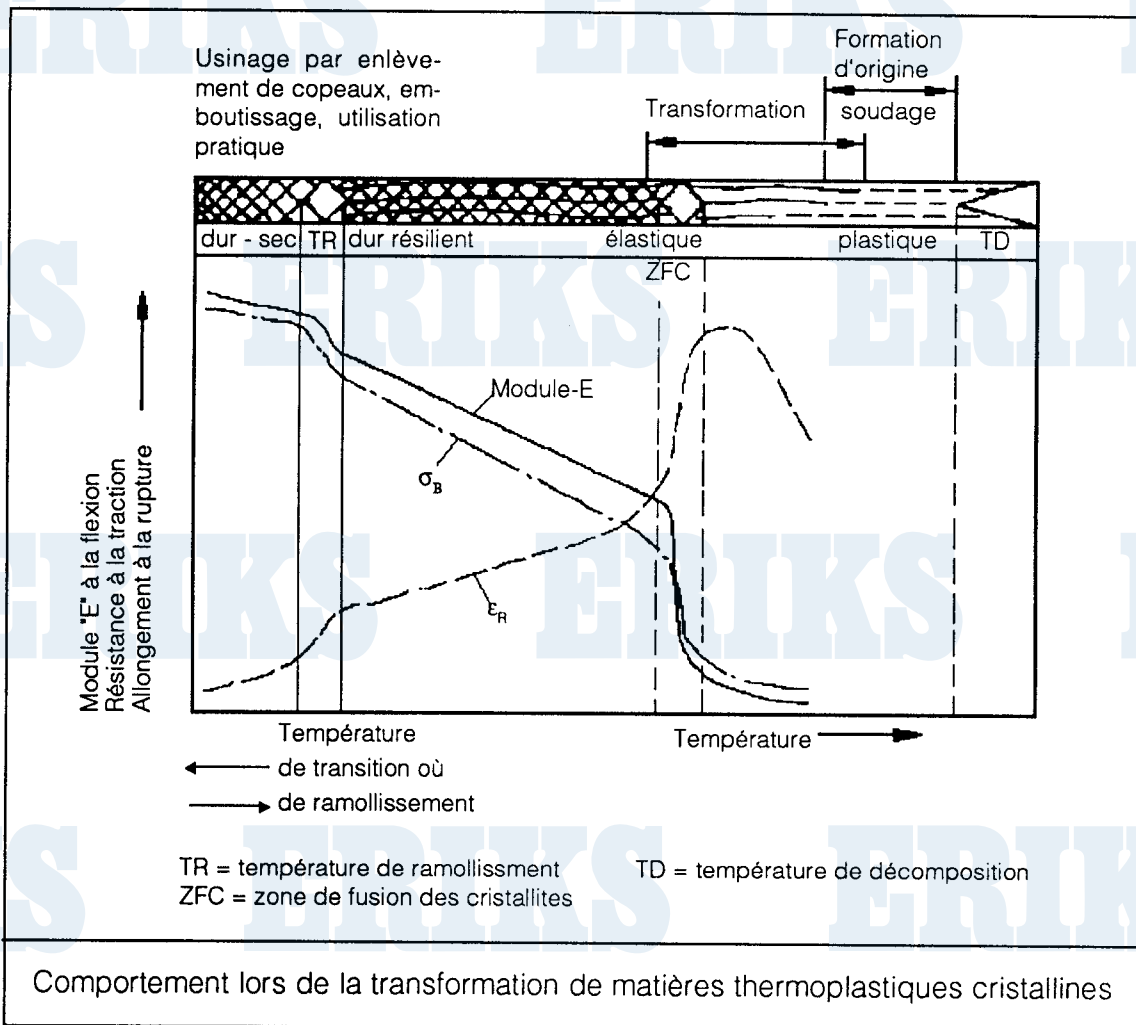
### 1.1 Matières thermoplastiques amorphes

Les matières thermoplastiques amorphes, comme par exemple le PVC-U rigide, seront usinées par enlèvement de copeaux à l'état solide (au-dessous de 60 °C, correspondant à la plage de température de vitrification ou de ramollissement). Au-dessus de 60 °C, la résistance au seuil de fluage et le module E diminuent rapidement lorsque la température augmente, tandis que l'allongement et par conséquent, l'étirabilité/l'extensibilité augmentent. La zone plastique se situe au-dessus de 180 °C où intervient la formation dite d'origine, donc l'extrusion, l'injection et le moulage. Au-delà, on entre dans la zone de décomposition (selon la norme allemande VDI 2008).



## 1.2 Matières thermoplastiques semi-cristallines

Les matières thermoplastiques semi-cristallines du programme SIMONA, par exemple le PE-HD, PP et le PVDF, sont dures et cassantes au-dessous de la plage de température de vitrification ou de ramollissement. Entre la plage de température de ramollissement et la zone de fusion des cristallites, la résistance au seuil de fluage et le module E diminuent, tandis que l'allongement augmente. Le thermoformage se fait à des températures au-dessus de la plage de fusion des cristallites (selon VDI 2208).



## **2. Le formage sous vide**

Parmi les différentes techniques de formage à chaud, le formage sous vide (généralement connu sous le terme de thermoformage) a pris une importance particulière.

La plaque ou la feuille est maintenue dans un cadre placé au-dessus du moule (= outil). Après une montée en température aussi régulière que possible, on aspire l'air qui se trouve entre le moule et le matériau. La pression atmosphérique extérieure appuie la plaque contre le moule et la déforme. Une fois refroidie, la pièce ainsi formée peut être enlevée du moule.

Le formage sous vide présente l'avantage de permettre la réalisation de pièces à paroi mince et à grande surface à l'aide d'outils simples. Les frais d'outil ainsi que le coût d'investissement et d'entretien sont nettement inférieurs à ceux générés par la technique d'injection. Ce procédé permet aussi bien la fabrication en grandes séries qu'une bonne rentabilité pour les petites séries. Les pièces de petites tailles peuvent être fabriquées de manière très rationnelle en utilisant des moules multiples.

En utilisant différentes techniques de thermoformage avec un pré-étirage mécanique ou pneumatique, et en employant un moule supérieur, il est possible de réaliser des pièces à épaisseur de paroi très régulière.

Toutes les matières thermoplastiques SIMONA, à l'exception des types PE à poids moléculaire élevé, PE-HML 500 et PE-HMG 1000, et SIMONA® COPLAST-AS, conviennent dans certaines limites pour le thermoformage. Tous types de machines sont utilisables. Pour les plaques d'une épaisseur égale ou supérieure à 3 mm, il est pourtant recommandé de chauffer simultanément les deux faces pour diminuer le temps de montée en température, et aussi pour éviter des lésions thermiques de la surface. Il est également recommandé d'appliquer une faible pression d'air sous la plaque afin d'éviter son affaissement. Pour des réalisations en grandes séries, des machines à stations multiples sont utilisées avec succès. Selon l'utilisation ultérieure des pièces, on se servira de machines avec ou sans poinçon, automatiques ou manuelles, pour des plaques jusqu'à environ 2000 x 6000 mm.

**2.1 Valeurs indicatives pour le thermoformage des produits SIMONA**

Plaques SIMONA®		a) taux détirage max.*	b) retrait dans le sens de l'extrusion %		c) température de transforma- tion  °C	température de l'outil  °C
			formage en moule concave	formage en moule convexe		
PE-HD	PE-HWU/PE-HWST	1 : 4			> 180	60 - 90
	PE-HWV d)	1 : 5	2 - 3	> 3		
	PE-EL	1 : 3,5				
PP	PP-DWU/PP-DWST/PPs	1 : 3	1,5 - 2,5	> 2,5	> 200	60 - 90
	PP-DW-EM	1 : 2,5				
PVC-U	PVC-CAW/PVC-LZ PVC-D/PVC-DS	1 : 4			> 180	bis 60
	PVC-HSV/PVC-MZ d)	1 : 5	0,5 - 1	> 1		
	PVC-EL	1 : 2				
	SIMOCEL-AS	1 : 1,5				
	PVC-GLAS/ PVC-GLAS-SX	1 : 4				
PVDF	PVDF	1 : 3			2 - 3	> 3

a) rapport entre la surface de la plaque et la surface de la pièce thermoformée

b) dans le sens de la largeur, la valeur est d'environ la moitié

c) température de la surface et non des radiants

d) pour les taux d'étirage extrêmes, en particulier pour le formage en moule concave

\* en fonction de l'opérateur et de l'installation

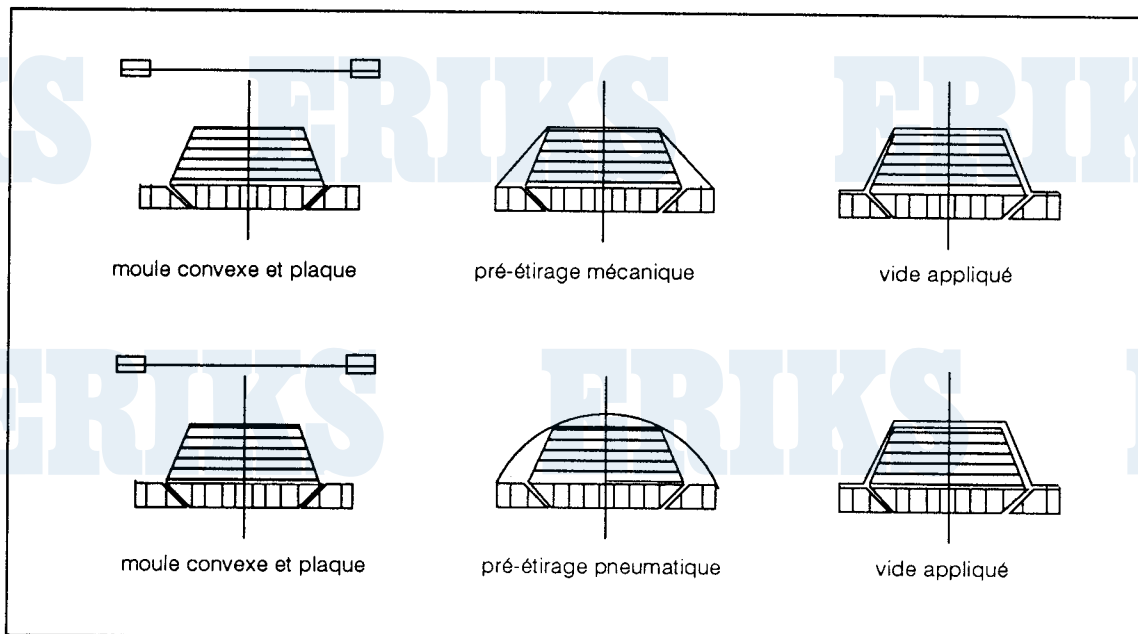
Les matières thermoplastiques semi-cristallines PE, PP, et PVDF, demandent 35 sec d'échauffement par mm d'épaisseur de paroi. Le PVC, par contre ne nécessite qu'environ 25 sec.

## 2.2 Formage en moule convexe et en moule concave

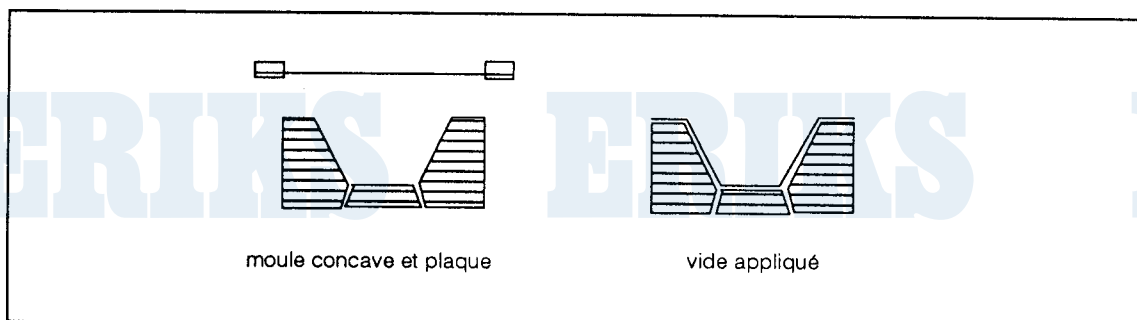
Lorsque les deux techniques peuvent être employées, la décision d'utiliser un moule convexe ou un moule concave sera prise en fonction des facteurs suivants:

- Répartition souhaitée de l'épaisseur de paroi
- Côté apparent
- Structure de surface
- Tolérances

Des outils sablés de haute qualité permettront d'obtenir une surface parfaite du côté adhérent à l'outil. En utilisant la technique du moule convexe, ce sera le côté intérieur de la pièce.



Cette technique permet une excellente reproduction des structures de l'outil et des caractéristiques de fabrication, en particulier pour le PP. Lorsque les tolérances imposées sont serrées, le moule convexe s'impose, car lors du refroidissement, la pièce se rétracte sur l'outil. L'importance du retrait reste ainsi limitée en hauteur.



Lorsque le matériau est entièrement plastifié, il est conseillé de buller en fonction de la hauteur de l'outil, voir de pré-étirer s'il s'agit d'un moule concave afin d'éviter toute formation de plis. Ensuite l'outil est déplacé et appliqué sur la plaque pré-étirée, et on aspire l'air. Aux endroits, où la matière plastique touche l'outil, toute autre déformation est impossible. En général, la pièce est refroidie par air; on ne devrait pulvériser de l'eau qu'une fois la surface rigidifiée. Ce procédé permet d'obtenir des épaisseurs de paroi régulières et de réduire les tensions internes des pièces thermoformées.

Afin d'assurer une fabrication économique de pièces thermoformées de haute qualité en PE, PVDF et PP, nous conseillons le refroidissement complet — après démoulage des pièces encore chaudes — dans des cadres séparés, évitant ainsi toute torsion des pièces. La déformation peut également être limitée par une température de formage élevée, le refroidissement lent, une température de démoulage aussi basse que possible ainsi que la découpe des bords immédiatement après le thermoformage.

#### **Le retrait**

Le retrait est la différence entre les dimensions de l'outil et celles de la pièce finie. Sa hauteur varie en fonction de:

- la forme de l'outil
- l'utilisation de moules convexes ou concaves
- l'épaisseur de la plaque
- le sens d'extrusion des plaques
- le temps d'échauffement et la température des plaques
- la température de l'outil
- le temps de refroidissement
- la température de la pièce lors du démoulage
- l'utilisation d'un moule de refroidissement séparé
- le moment de la découpe du bord

Des valeurs indicatives sont données à la page 5.

#### **L'humidité**

Le PVC et également certains matériaux plastiques conducteurs d'électricité peuvent absorber une faible quantité d'humidité qui se manifeste par la formation de bulles lors de la montée en température sur la thermoformeuse. Dans ces cas, il est conseillé d'étuver le PVC à 55 °C environ (env. 12 à 24 heures),

PE	à env. 125 °C
PP	à env. 155 °C
PVDF	à env. 165 °C.

Pour les plaques stockées à l'abri de l'humidité, le séchage préalable n'est pas nécessaire.

### **2.3 Outil**

Pour la construction d'outils, les matières employées le plus souvent sont le bois, l'aluminium, les résines moulées et les matières moulées sous pression. Le choix du matériau utilisé pour la réalisation du moule est déterminé par:

- la qualité souhaitée des pièces à réaliser
- le nombre de pièces à réaliser
- la facilité de mise en œuvre
- la conductibilité thermique
- la résistance à l'usure
- le coût

Pour la réalisation d'outils, il est nécessaire de tenir compte du retrait des thermoplastiques ainsi que du sens d'extrusion des plaques.

En employant des outils refroidis, on arrive à réaliser des séries constantes et des cycles de travail courts et économiques.

Les surfaces sablées présentent l'avantage de permettre l'aspiration complète de l'air lors du formage à vide et d'empêcher la formation de poches d'air. Les perçages d'aspiration ne doivent pas excéder 1 mm, et 0,8 mm pour les polyoléfines car ils seraient reproduits par le matériau plastifié. Il est conseillé d'appliquer un agent démoulant sur les moules (talc, aérosol de téflon, cires, savon). En règle générale, on obtiendra des épaisseurs de paroi plus régulières en utilisant un moule convexe, grâce à la possibilité de pré-étirer la plaque chaude.

Les rayons des chants peuvent être relativement faibles pour le polypropylène; pour le polyéthylène rigide, nous recommandons des rayons plus grands (environ 2 à 3 fois l'épaisseur de la plaque).

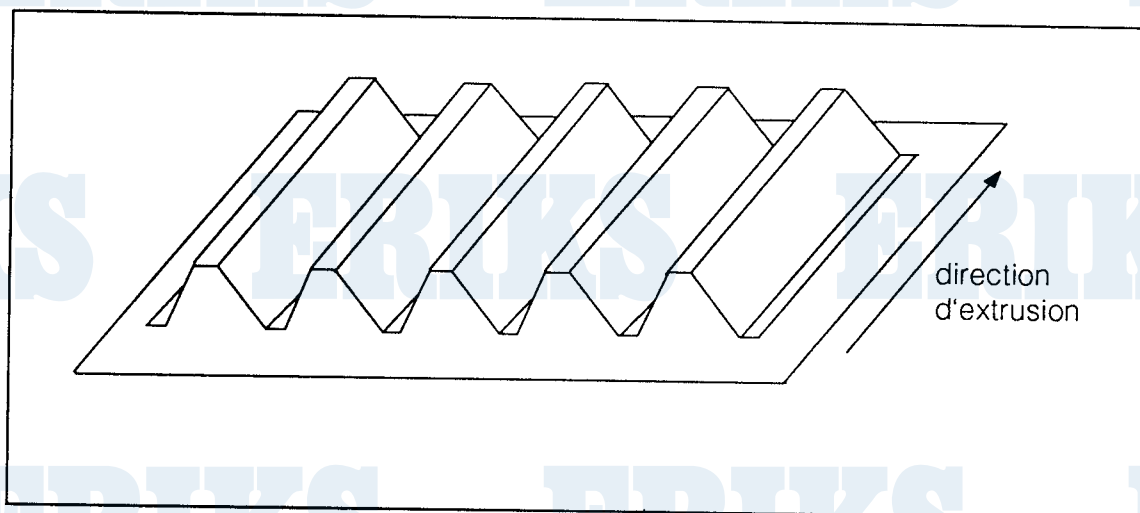
Lors de l'utilisation de moules convexes, le PE-HD exige une conicité de 5° à 10°, le PVC d'environ 5°. En ce qui concerne les moules concaves, cela n'est pas nécessaire puisque la pièce thermoformée se détache du moule lors du refroidissement.

### **2.4 Préchauffage**

Afin de limiter les temps d'occupation de la machine, nous recommandons de préchauffer les plaques dans une étuve jusqu'à une température légèrement inférieure à la température de ramollissement (PE-HD 115-120 °C, PP 150-155 °C, PVC 60-70 °C, PVDF ca. 150 °C). La montée en température se fera de préférence à puissance de chauffage réduite. Ainsi, la surface de la plaque est peu exposée aux tensions. Ce procédé a pour avantage une durée de vie élevée des pièces réalisées. La plastification de la surface complète des plaques est indispensable afin d'éviter une déformation importante des pièces thermoformées. Nous recommandons par conséquent de protéger la thermoformeuse sur tous les côtés contre les courants d'air.

## 2.5 Influence du sens d'extrusion

Le sens d'extrusion des plaques à thermoformer doit être déterminé à l'avance; dans beaucoup de cas le résultat dépend de cette précaution. En règle générale: sens longitudinal de la plaque = orientation longitudinale de la pièce thermoformée. Pour les découpes carrées et pour les outils orientés ou ronds, le sens d'extrusion des plaques doit être rigoureusement respecté. Le retrait ne doit pas non plus être négligé; en général, sa valeur est deux fois plus important dans le sens de la longueur que de la largeur (voir tableau page 5).



## 2.6 Influence du chauffage

Le procédé de formage sous vide permet de travailler de façon "économique" et sans trop solliciter la matière employée. Généralement, la faible conductivité thermique des plastiques empêche un échauffement rapide de la plaque jusqu'au noyau.

Un chauffage lent des deux faces à des températures basses sollicite en effet moins la plaque, mais ne permet pas d'obtenir des temps de cycle économiques.

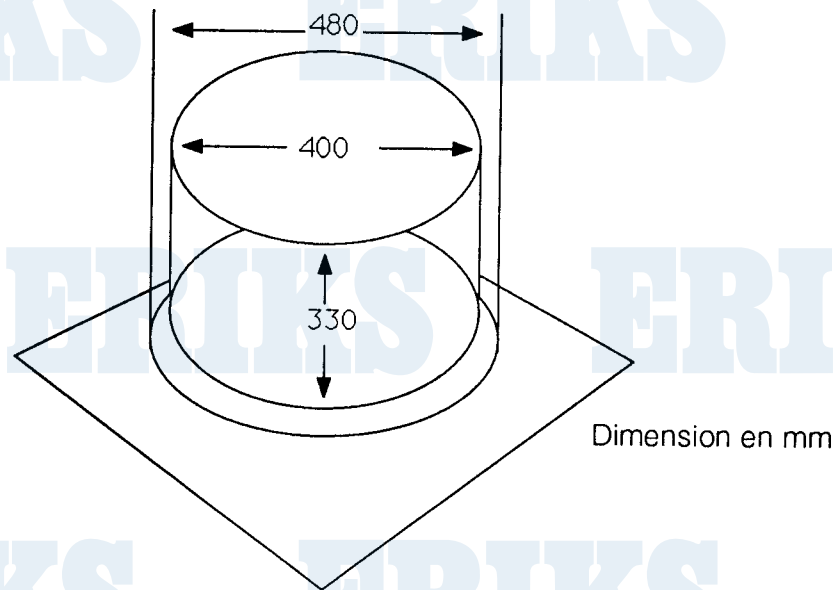
Un chauffage unilatéral par contre donne une surface plus sollicitée que l'autre, dont les stabilisateurs à la chaleur et aux rayons UV sont consommés en conséquence. Cette information est importante pour l'application. Lors de l'application extérieure par exemple, il faut toujours utiliser le côté le moins, voir non chauffé. De l'observation de ces renseignements résulte une durée de vie prolongée.

## 2.7 Calcul de l'épaisseur de paroi des pièces thermoformées

Le taux d'étirage est le quotient de la surface de la plaque de base ( $O_1$ ) et la surface de la pièce formée ( $O_2$ ).

Voici deux exemples, en supposant une répartition de l'épaisseur de paroi assez homogène.

a) cylindre



donné:            cadre avec masque             $D_1 = 48 \text{ cm}$   
                   dimensions de cylindre         $D_2 = 40 \text{ cm}, h = 33 \text{ cm}$   
                   épaisseur de paroi souhaitée     $s_1 = 3 \text{ mm}$

cherché:            épaisseur de la plaque à utiliser     $s_2 = ?$

solution:

$O_1$ (surface de la plaque d'origine)	$= r^2 \cdot \pi = 24 \cdot 24 \cdot \pi =$	$1809 \text{ cm}^2$
enveloppe du cylindre	$= D_2 \cdot \pi \cdot h = 40 \cdot \pi \cdot 33 =$	$4147 \text{ cm}^2$
$O_2$ (surface de la pièce formée)	$= O_1 + \text{enveloppe} =$	<u><math>5956 \text{ cm}^2</math></u>
rapport d'étirage	$s_1 : s_2 \approx O_1 : O_2 = \text{ca. } 1 : 3,3$	

Conclusion: Pour obtenir une épaisseur de parois de la pièce thermoformée de 3 mm, il faut mettre en œuvre des plaques d'au moins 10 mm d'épaisseur.



### **3. Formage à chaud**

Contrairement au formage sous vide où la matière est maintenue et traitée pendant une durée relativement courte avec des radiants unilatéraux ou bilatéraux à hautes températures, le formage à chaud se fait dans des plages de température plus élevées où les matériaux sont à l'état plastique. En ce qui concerne les matières plastiques amorphes, cet état se situe au-dessus de la zone de ramollissement. Pour les matières semi-cristallines, il se situe au-dessus du niveau de la plage de fusion des cristallites.

La température augmentant, les forces nécessaires pour réaliser le formage diminuent. Pour obtenir des fromages durables, les forces de formage doivent par conséquent rester appliquées jusqu'à ce que, en refroidissant, la matière plastique ait regagné une rigidité suffisante. Plus la température est élevée lors du formage, moins la pièce a tendance à revenir à sa forme initiale lors d'un nouveau chauffage, c'est-à-dire les pièces gardent mieux leur forme sous l'influence de la chaleur.

Lors de l'extrusion de plaques, les molécules sont orientées dans un même sens. Lors de l'échauffement au-dessus du point de solidification, les molécules perdent leur orientation en réduisant leurs tensions internes, c'est-à-dire la pièce rétrécit, ou subit une modification de ses dimensions.

L'importance du retrait varie en particulier en fonction de la nature de la matière thermoplastique, de la température et de la durée de l'échauffement, et de l'épaisseur des plaques. Les plaques extrudées en PVC rigide présentent un retrait dans le sens longitudinal et un allongement dans le sens de la largeur. Pour le PP, il n'y a pas de retrait important dans le sens de la largeur. Les plaques en PE subissent un retrait dans le sens de la largeur et de la longueur.

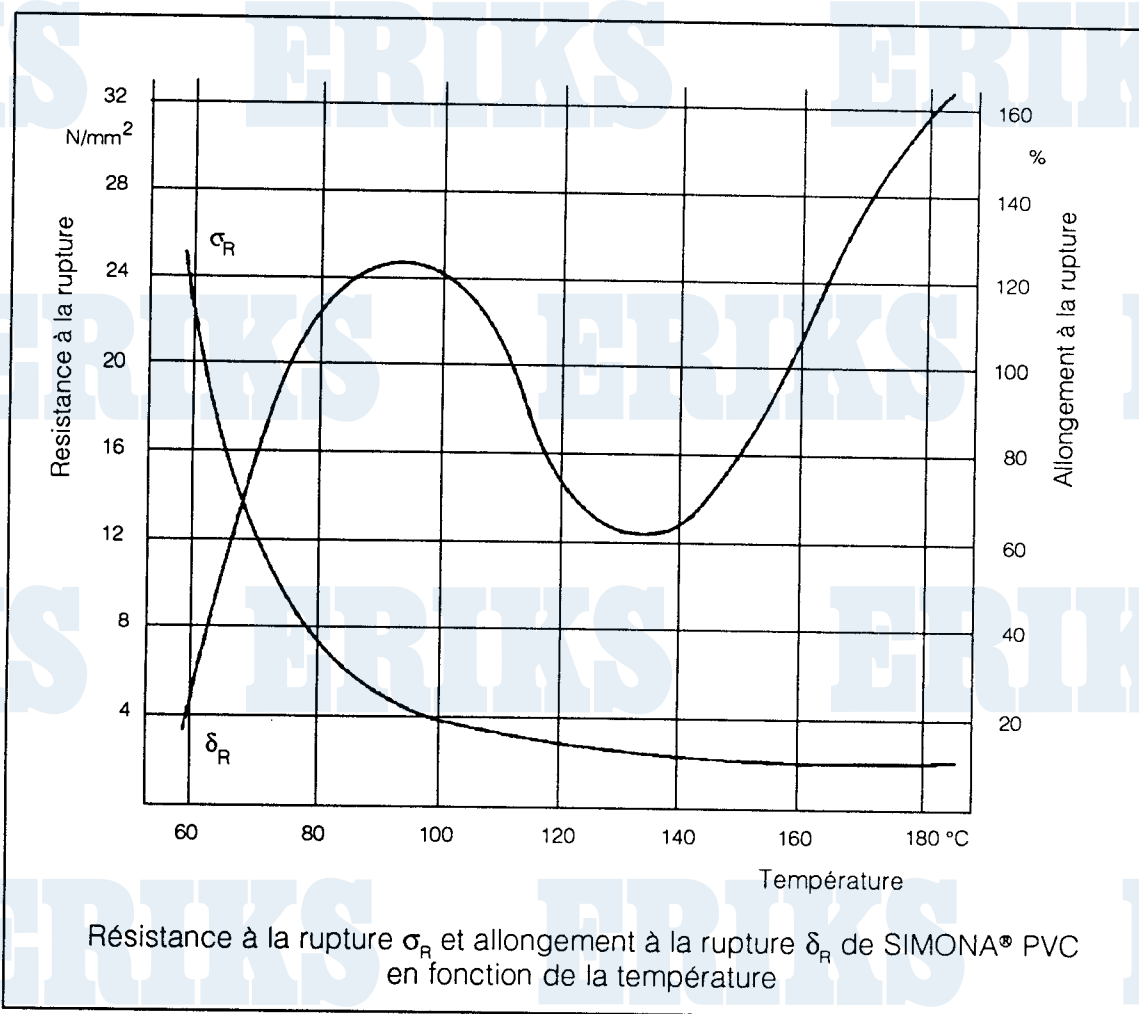
Pour toutes ces raisons, il est nécessaire de réaliser sur les plaques un essai dans des conditions réelles lors duquel sont appliquées les conditions de mise-en-œuvre prévues. Il est ainsi possible de déterminer les dimensions nécessaires des plaques. Il est recommandé d'augmenter légèrement les longueurs puisque la pièce doit dans tous les cas subir un traitement de finition.

Les pièces découpées seront de préférence chauffées dans une étuve réglable avec précision. Les plaques en PVC rigide peuvent être suspendues dans l'étuve, celles en polyoléfinies seront placées horizontalement.

Les températures recommandées des plaques à former sont:

PE-HD	125-150 °C
PP	160-170 °C
PVC-U	110-140 °C, et aussi au-dessus de 170 °C
PVDF	175-200 °C

(Afin d'obtenir des cycles plus courts, des températures supérieures peuvent être envisagées. Néanmoins, dans ce cas, il est nécessaire d'assurer une observation permanente et de mesurer le temps.)



Le temps de chauffe varie en fonction de la température de l'étuve, de la mobilité de l'air chaud entourant les plaques, l'épaisseur de la plaque à chauffer et enfin, de la nature de la matière plastique. Nous pouvons recommander les valeurs suivantes:

Polyoléfines et PVDF: temps de chauffe en minutes: 6 fois l'épaisseur de la plaque (mm)  
PVC rigide: temps de chauffe en minutes: 3 fois l'épaisseur de la plaque (mm)

La plaque doit être chauffée à cœur sur toute sa surface. Cela empêche une tendance de la pièce finie à revenir à la forme initiale après refroidissement.

Les matériaux à thermoformer sont choisis en fonction de la durée de vie souhaitée et de la sollicitation, donc du nombre de formages prévus, ainsi que de la qualité de surface de la pièce finie. L'outil de formage peut être fabriqué en plâtre, résine moulée, bois, plastique ou en métal.

Généralement, on travaille avec des outils en deux parties formant la matrice et le poinçon correspondant. Parfois, une partie du moule est remplacée par un tissu; la plaque chauffée est enroulée autour d'un noyau et maintenue ainsi au moyen d'un tissu jusqu'à refroidissement.

Il est également possible de réaliser des pièces thermoformées parfaites par le soufflage d'une plaque chauffée dans un moule creux à l'aide d'air comprimé (chaud).

#### **4. Pliage**

La zone linéaire de pliage d'une plaque peut être chauffée de différentes manières, sur une seule ou sur les deux faces:

1. sans contact
  - radiants (aux rayons infrarouges ou au quartz)
  - filaments ou barreaux chauffants
  - chalumeau à air chaud
2. par contact direct
  - éléments chauffants de grande surface

Après un échauffement suffisant, la plaque est pliée dans l'angle prévu et maintenue dans cette position jusqu'à ce que la matière soit redevenue solide. Un jet d'air comprimé dirigé sur la plaque accélère le refroidissement.

Le rayon de courbure minimum est généralement de deux fois l'épaisseur de la plaque.

#### **5. Conseil**

Nos collaborateurs du Service Vente et du Service Applications Techniques ont une longue expérience dans l'utilisation et la transformation de produits semi-ouvrés thermo-plastiques et se tiennent à votre disposition pour tout renseignement complémentaire.

ERIKS

ERIKS

ERI

**SIMONA**

RIKS

ERIKS

ERIKS



ERIKS

ERIKS

ERI

Instructions de transformation  
Usinage par enlèvement de copeaux

03/93

RIKS

ERIKS

ERIKS

## **Table des matières**

### **1. Perçage**

### **2. Filetage / Taraudage**

### **3. Fraisage**

### **4. Rabotage**

### **5. Tournage**

### **6. Sciage**

- 6.1 Scie circulaire
- 6.2 Scie à ruban

### **7. Poinçonnage / Découpage**

### **8. Ponçage / Polissage**

### **9. Recuit de détensionnement**

- 9.1 Libération des tensions internes
- 9.2 Recuit
- 9.3 Valeurs indicatives

### **10. Conseils**

2/92 d

3/93 f

Cette information produit remplace toutes les éditions précédentes.  
Tous droits de reproduction réservés (c) Copyright SIMONA 1993

Tableau 1: paramètres pour le perçage des matériaux plastiques

Perçage	PE-HD	PP	PVC	PVDF
$\alpha$ angle de dépouille°	10-13	5-12	6-10	10-16
$\beta$ angle de l'hélice °	12-16	12-16	12-16	12-16
$\gamma_1$ angle d'affûtage °	3-5	3-5	3-6	3-6
$\varphi$ angle du sommet °	60-90	60-90	80-120	100-130
v vitesse de coupe m/min	50-100	50-100	30-80	50-200
s avance mm/tour	0,2-0,5	0,2-0,5	0,1-0,5	0,1-0,5

Les vitesses de coupe et d'avance dépendent de la profondeur du perçage. Le matériau thermoplastique ne doit pas plastifier (vitesse de coupe v élevée pour les faibles épaisseurs).

## 2. Filetage / Taraudage

Le filetage peut être effectué avec des filières et des tarauds usuels. Toutefois l'angle d'affûtage ne doit pas dépasser 0°. Pour des assemblages devant être souvent démontés et pour éviter l'amorce de rupture, il est préférable d'utiliser le filet rond selon DIN 405 ou des douilles taraudées. Les vis autotaraudeuses, (pas les vis à tête), du type „High-Low-“, „Spax-“ ou les vis dites pour fenêtres sont utilisées pour des assemblages rarement démontés.

## 3. Fraisage

Les fraiseuses à grande vitesse de rotation pour l'usinage des métaux sont parfaitement adaptées. Il est avantageux de travailler avec une grande vitesse de rotation et une petite profondeur de coupe.

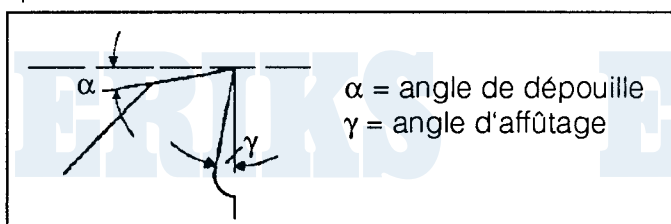


Tableau 2: paramètres pour le fraisage des matériaux plastiques

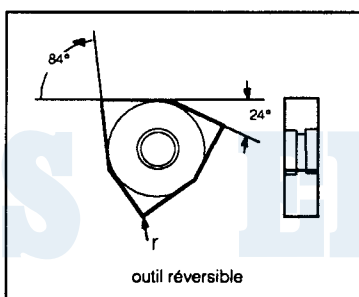
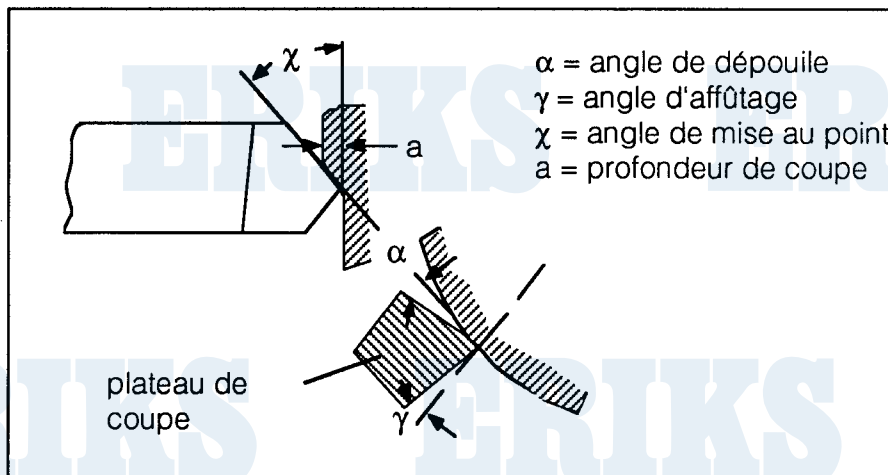
Fraisage	PE-HD	PP	PVC	PVDF
$\alpha$ angle de dépouille °	5-15	5-15	5-10	5-10
$\gamma$ angle d'affûtage °	5-15	10-15	5-20	bis 15
v vitesse de coupe m/min	jusqu'à 1000	jusqu'à 1200	300-1000	200-1000
s avance mm/tour	0,1-0,5	0,1-0,5	0,1-0,5	0,1-0,5

#### 4. Rabotage

Le rabotage se fait avec les outils usuels (riflard et varlope) et les dégauchisseuses utilisées en menuiserie. Les machines à raboter à course réduite, utilisées pour l'usinage des métaux, après adaptation des outils sont également compatibles.

#### 5. Tournage

Les produits semi-ouvrés thermoplastiques doivent être tournés avec une faible avance et une grande profondeur de coupe. La pointe de l'outil doit être légèrement arrondie comme cela se pratique pour l'usinage des métaux. Ces dispositions donnent une surface uniforme sans traces de stries.



L'utilisation d'outils réversibles avec divers profils de coupe permettent un bon dégagement des copeaux avec une coupe douce et sont d'une bonne rentabilité.

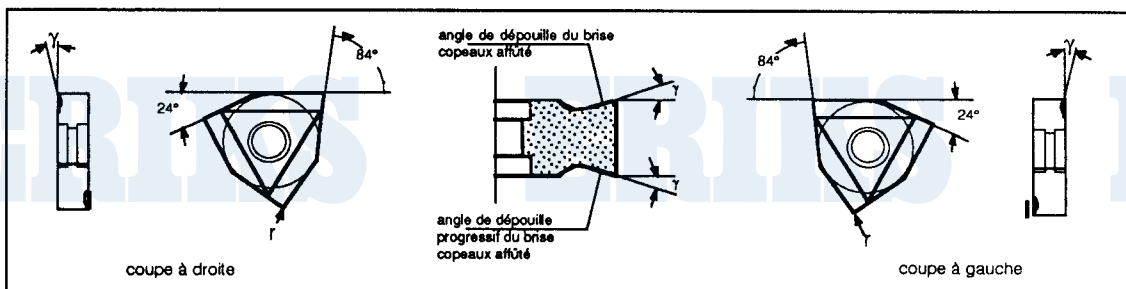


Tableau 3: paramètres pour le tournage des matériaux plastiques

Tournage	PE-HD	PP	PVC	PVDF
$\alpha$ angle de dépouille °	5-15	5-15	5-10	8-15
$\gamma$ angle d'affûtage °	0-10	0-8	0-10	0-15
$\chi$ angle de mise en point °	45-90	45-60	45-60	45-60
v vitesse de coupe m/min	200-500	200-400	200-500	100-300
s avance mm/tour	0,1-0,5	0,1-0,5	0,1-0,2	0,1-0,3
a profondeur de coupe mm	jusqu'à 6			
r rayon de la pointe mm	$\geq 0,5$			

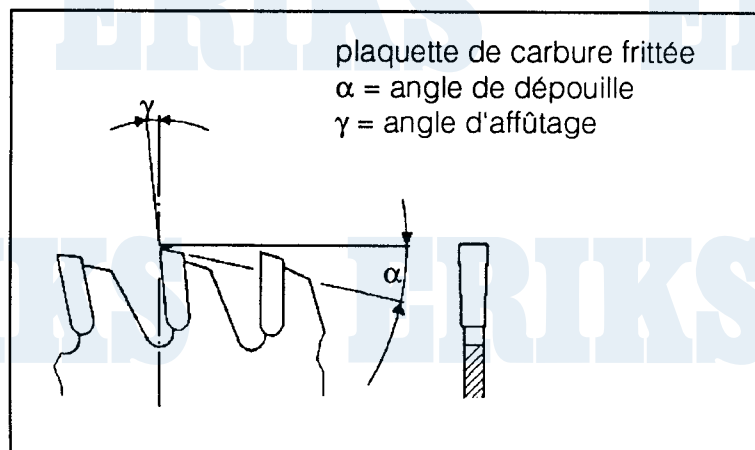
## 6. Sciage

### 6.1 Scie circulaire

Des coupes propres sont obtenues, si la lame de la scie ne dépasse que légèrement le dessus de la plaque en matière plastique à découper.



Les plaques jusqu'à une épaisseur de 5 mm peuvent être découpées avec des lames de scie non avoyées. L'utilisation de lames de scie à plaquettes rapportées améliore la performance et la qualité de la coupe et augmente la longévité.



Forme des dents pour scie circulaire (à plaquette en métal dur)

Forme de la dent vue en coupe



dent alternée  
oblique, pointue

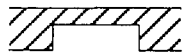
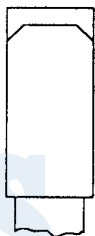
PVC, PE-HD, PP

pour PP grand pas de dents —

ex: disque 220 mm Ø, env. 28 dents

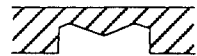
pour PVC petit pas de dents —

ex: disque 220 mm Ø, env. 88 dents



dent alternée  
en trapèze,  
plate

Plaques sandwich coextrudées  
COPLAST-AS



dent alternée  
oblique,  
chanfreinée

Matériaux durs et cassants  
PVC-GLAS, méthacrylate

Tableau 4: paramètres pour le sciage des matériaux plastiques avec scie circulaire

Scie circulaire (acier ARS)	PE-HD	PP	PVC	PVDF
$\alpha$ angle dépouille °	10-15	5-15	5-10	5-15
$\gamma^k$ angle d'affûtage °	0-10	0-10	0-5	0-8
t pas des dents* mm	3-8	3-8	3-5	2-8
v vitesse de coupe m/min	1000-3000	600-3000	2500-4000	jusqu'à 2500

\* pour des matériaux cassants, choisir un petit pas de dents

A part les paramètres d'influence de la spécificité du matériau, ce sont les vitesses circonférentielles admissibles (produit du nombre de tours et du diamètre de la lame) qui déterminent l'opération d'un sciage économique.

Tableau 5: nombre de tours maxi admissibles pour scies:  
100 m/sec en vitesse de coupe

vitesse de coupe	m/sec	diamètre du disque [mm]									
		100	150	200	250	300	350	400	450	500	600
maximale	100	19 000	13 000	9 500	8 000	6 500	5 500	4 500	4 200	3 800	3 200
économique	80	15 000	10 500	7 500	6 500	5 000	4 500	3 800	3 400	3 000	2 600
	60	11 500	7 500	5 700	4 700	3 800	3 300	2 800	2 500	2 300	1 900
minimale	40	7600	5 500	3 800	3 100	2 500	2 200	1 900	1 700	1 500	1 300

## 6.2 Scie à ruban

En raison de la rotation du ruban de scie, celui-ci évacue mieux la chaleur. Les scies à ruban sont spécialement adaptées pour la découpe des tubes, la découpe des blocs, des plaques épaisses et les coupes curvilignes. Les rubans de scie doivent être bien avoyés ( $\pm 1$  mm) et bien affûtés.

Tableau 6: paramètres pour le sciage des matériaux plastiques avec scie à ruban

Scie à ruban (acier rapide ARS)	PE-HD	PP	PVC	PVDF
$\alpha$ angle de dépouille °	30-40	30-40	30-40	30-40
$\gamma^B$ angle d'affûtage °	0-5	0-5	0-5	2-8
t pas des dents* mm	2-6	2-6	2-5	2-8
v vitesse de coupe m/min	500-3000	1000-3000	bis 2000	500-3000

\* pour des matériaux cassants, choisir un petit pas de dents

Indice K = scie circulaire, lame de scie en acier rapide à affûtage concave  
Indice B = scie à ruban, lame de scie légèrement avoyée en acier allié  
SS = acier rapide  
HM = acier

## 7. Poinçonnage et découpage

Le poinçonnage des épaisseurs minces est possible sur les presses habituelles. La qualité de l'arête de coupe dépend de l'affûtage du poinçon, mais aussi de l'épaisseur de la plaque. En général l'aspect de la coupe est plus propre sur les plaques minces que sur les plaques épaisses. Pour éviter des tensions et des fissures dans la plaque à transformer, l'angle de coupe devra être en-dessous de 70°.

Les matériaux plastiques SIMONA peuvent être découpés au massicot suivant le matériau jusqu'à une épaisseur de 4 mm. Les lames bien affûtées, non endommagées et un jeu maxi de  $\leq 1$  mm entre la lame mobile et fixe contribuent à de bons résultats de coupe.

## **8. Ponçage / Polissage**

Dans certains cas, des traitements de surface peuvent être nécessaires après l'usinage du produit semi-ouvré. Le ponçage permet un dépolissage régulier, également sur des pièces après usinage par enlèvement de copeaux, par exemple des soudures - en traitement préliminaire des surfaces à coller, à vernir ou à polir. Le polissage est utilisé pour réhausser le brillant naturel et spécifique du matériau, pour l'adapter aux pièces déjà existantes.

### **Ponçage**

Le ponçage permet de dégrossir la surface du matériau. En traitement préliminaire, il améliore notablement le polissage. Eventuellement des soudures existantes ou bords saillants sont enlevés au moyen d'un bédane, un racloir ou une râpe. Le ponçage sera d'abord effectué avec un abrasif à gros grains, puis avec un abrasif à grains fins jusqu'à ce qu'une surface homogène se réalise. Les rayures qui pourraient subsister seront éliminées lors de cette opération. La technique de polissage en phase humide a été confirmée et permet de limiter les risques d'échauffement. Plutôt que les traditionnels papiers abrasifs, on préférera l'emploi d'abrasifs synthétiques du type SCOTCH-BRITE de la Sté 3M. Le polissage peut être effectué manuellement ou avec l'utilisation d'une ponceuse appropriée ou une ponceuse vibrante, de préférence des machines oscillantes.

### **Polissage**

Le polissage repose sur le principe du ramollissement superficiel de la matière et nécessite un certain doigté. L'utilisation de tourets à polir est préconisée. Une surchauffe doit être évitée lors du polissage, les matières plastiques ont tendance à plastifier en raison de la mauvaise conductibilité thermique. Le processus optimal nécessite deux disques:

Le premier (abrasif) pour la préparation. Les disques de coton écru sont les plus appropriés. Le second (molletoné) pour la finition. Dans les deux cas, la vitesse de rotation linéaire ne doit pas excéder 23 m/s. On atteint cette vitesse de rotation par un nombre de tours usuels de 1.440 tours/min. avec un disque d'un diamètre de 300 mm.

### **Cires**

L'utilisation de cires lors du polissage et du lustrage améliore sensiblement l'aspect des surfaces polies. Cires se prêtant à ces différentes opérations:

MENZERNA	113 GZ pour le polissage
MENZERNA	AT 6 pour le lustrage
Producteur	MENZERNA Werk, Dr. Ing. W. Burkhart GmbH & Co. Gartenstr. 77, Postfach 43 49, 7500 Karlsruhe

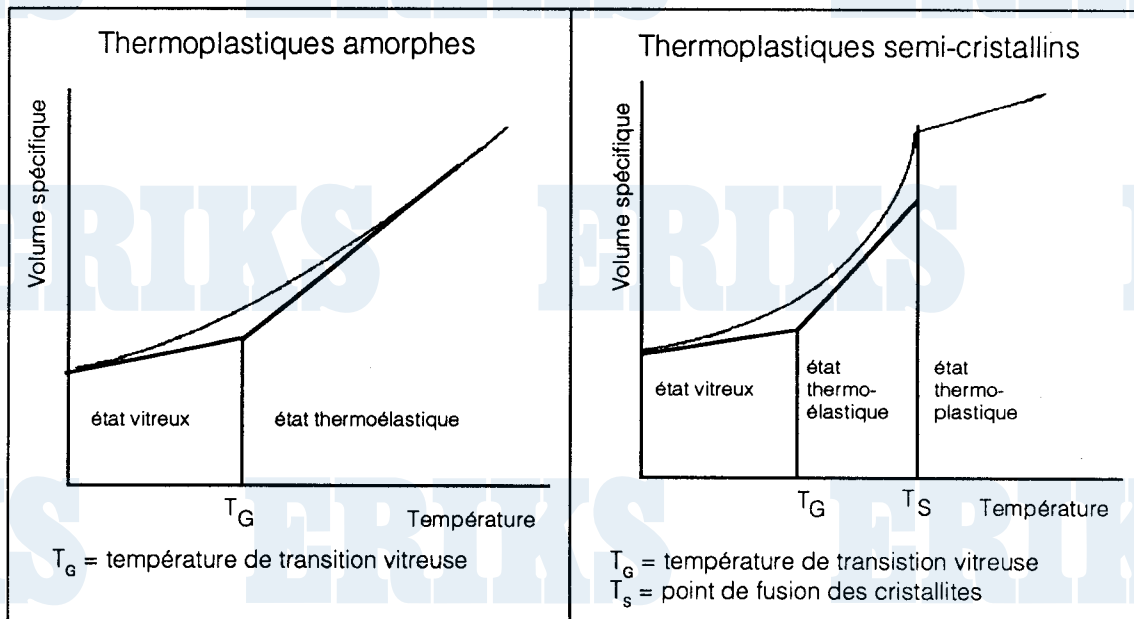
Pour le polissage et le lustrage en une seule opération, on recommandera l'emploi de la pâte référencée type 16.

## 9. Recuit de détensionnement

### 9.1 Libération des tensions internes

Tous les produits semi-ouvrés thermoplastiques ainsi que les pièces fabriquées qui en sont issues possèdent leurs propres tensions internes. Ces tensions ne sont pas à mettre sur le compte de l'influence de forces externes. Elles deviennent visibles quand l'ensemble des contraintes du corps considéré est perturbé. La masse fondue plastifiée dans l'extrudeuse est formée à l'air libre par la fente de l'outil. Le produit semi-ouvré encore plastifié, facilement déformable, est guidé successivement sur plusieurs rouleaux, refroidi et durci. L'évacuation de la chaleur se fait exclusivement à la surface externe du produit semi-ouvré, un refroidissement interne n'est pas possible. Par conséquent, une température inférieure à la surface externe (vitesse de refroidissement élevée) et une température élevée à l'intérieur du produit semi-ouvré (vitesse de refroidissement inférieure) a toujours lieu lors de l'extrusion à cause d'une mauvaise conductibilité thermique des matériaux plastiques. Des contractions volumiques apparaissent dans le produit semi-ouvré en raison des vitesses de refroidissement différentes (externe - interne).

Figure: variation du volume spécifique en fonction de la température



Cela signifie: efforts de traction à l'intérieur du produit semi-ouvré, et par conséquent des tensions de compression à l'extérieur.

## 9.2 Recuit

Particulièrement l'usinage par enlèvement de copeaux unilatéral perturbera ce régime de contrainte équilibré. Dans ce cas, des déformations comme par exemple une courbure ou une torsion de la matière peuvent apparaître. Comme remède s'offre la possibilité d'un traitement thermique préalable: le recuit (diminution des tensions). Pour réussir au mieux, veuillez tenir compte d'une série d'influences puisque la température du traitement thermique dépend du matériau.

Les matériaux amorphes sont recuits au-dessus de la température de transition vitreuse, les matières plastiques semi-cristallines à environ 10 à 20 °C en-dessous du point de fusion des cristallites (voir figure).

La durée de recuit est définie par la somme du temps d'échauffement, de séjour et de refroidissement, il est déterminé par

- l'épaisseur maximale du corps à recuire
- la position du profil de tension dans la coupe transversale de la paroi

Les pièces à recuire sont à placer dans une étuve de telle manière qu'une surface aussi large que possible soit exposée à la température nécessaire. L'étuve à circulation d'air avec une température régulière est la mieux adaptée.

Tableau 7: valeurs indicatives pour le recuit des thermoplastiques SIMONA

	Epaisseur mm	Chauffage		Refroidissement
		Temp. °C	Temps de chauffe h	
PE	20	120	2	10 °C d'abaissement de temp. par heure; arrêter l'étuve à la température de 50 °C (après env. 8 h). Retirer les pièces à env. 25 °C
	40		3	
	60		4	
	80		5	
	100		6	
	120		7	
PP	20	140	2	10 °C d'abaissement de temp. par heure; arrêter l'étuve à la température de 50 °C (après env. 10 h) Retirer les pièces à env. 25 °C.
	40		3	
	60		4	
	80		5	
	100		6	
	120		7	
PVDF	10	150	1,5	
	20		2	
	30		2,5	

Des températures de pointe de 1 heure suffisent en général pour le traitement d'épaisseurs <10 mm. Pour éviter que des contraintes internes se reforment pendant le processus de refroidissement, il faut respecter la diminution de la vitesse de refroidissement. A noter: plus la température est élevée, plus la vitesse de refroidissement doit être réduite.

### **9.3 Valeurs indicatives**

Si par exemple le polypropylène est recuit à 150 °C, il faut tenir compte d'une vitesse de refroidissement très lente particulièrement dans la zone de 150 à 100 °C (résultat des recherches de SIMONA AG). L'élément recuit peut être retiré de l'étuve dès qu'il a atteint une température superficielle de 50 °C. En raison du petit écart de température entre les 50 °C et la température ambiante du local il en résulte une convection libre, par la petite quantité de chaleur à éliminer et engendre une vitesse de refroidissement réduite.

Les joncs pleins en polymères thermoplastiques ont souvent un potentiel de contraintes internes. Dans le cas d'usinage par enlèvement de copeaux, il faut d'abord fabriquer des ébauches. Cela permet d'enrayer les déformations dues aux contraintes internes qui changent après le processus de recuit.

Si l'ébauche est à présent sans contraintes, elle est usinée à sa cote finale par des opérations successives (pour éviter toutes autres déformations). La pièce pauvre en contraintes permet des tolérances de fabrication relativement étroites.

Le recuit des pièces en matière plastique a seulement un sens si la pièce peut se déformer par libre dilatation. Si cela n'est pas le cas (par exemple des plaques en matière plastique enserrées dans un cadre métallique) il se produit des tensions thermiques. Le temps de recuit doit alors être défini soigneusement lors d'un cycle de fabrication.

## **10. Conseils**

Pour de plus amples informations sur l'usinage des matériaux thermoplastiques, veuillez consulter l'information produit correspondante.

Nos collaborateurs commerciaux et techniques possèdent une longue expérience dans l'application et la transformation des produits semi-ouvrés thermoplastiques. Nous vous conseillerons bien volontiers.

ERIKS

ERIKS

ERI

**SIMONA**

RIKS

ERIKS

ERIKS



ERIKS

ERIKS

ERI

Instructions de transformation

Revêtement et Matériau Composite

03/93

RIKS

ERIKS

ERIKS

## Sommaire

<b>1</b>	<b>Généralités</b> .....	<b>2</b>
1.1	Critères de sélection des matériaux de gainage intérieur (liner) .....	2
1.2	Gainage amovible .....	2
1.3	Adhésifs .....	3
<b>2</b>	<b>Programme de livraison et prescriptions</b> .....	<b>4</b>
2.1	Plaques .....	5
2.2	Tubes .....	6
2.3	Autres matériaux pour systèmes composites .....	6
<b>3</b>	<b>Informations techniques</b> .....	<b>7</b>
3.1	Généralités .....	7
3.2	Critères de résistance d'adhérence .....	8
3.2.1	Essai d'adhérence sous traction frontale .....	8
3.2.2	Essai de cisaillement .....	8
3.2.3	Essai de pelage .....	9
3.2.4	Essai de cisaillement annulaire/sectoriel .....	9
<b>4</b>	<b>Façonnage et mise en oeuvre des plaques liners</b> .....	<b>11</b>
4.1	Collage du PVC .....	11
4.2	Liners minces .....	11
4.3	Mise en oeuvre à température élevée .....	12
<b>5</b>	<b>Mise en oeuvre des matériaux liners</b> .....	<b>14</b>
5.1	Constructions composites .....	14
5.2	Revêtements internes .....	15
5.3	Essais de réception .....	18
5.3.1	Résistance d'adhérence .....	18
5.3.2	Étanchéité des soudures .....	18
<b>6</b>	<b>Conseil et renseignements</b> .....	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>Bibliographie</b> .....	<b>21</b>

## 1 Généralités

### 1.1 Critères de sélection des matériaux de gainage intérieur (liner)

Depuis quelques années, les constructions composites ne cessent de prendre une importance croissante dans la fabrication des appareils et des tuyauteries. Dès lors que des considérations de conception limitent le recours aux constructions tout plastique ou en aciers ou métaux spéciaux pour des raisons économiques, on fait appel à une construction composite avec un gainage intérieur (liner). A cet égard, la résistance chimique élevée des thermoplastiques du programme SIMONA peut s'associer à la résistance mécanique de matériaux éprouvés comme les plastiques renforcés fibre de verre (PRV) ou l'acier.

Un de principaux critères de sélection d'un gainage intérieur est sa résistance chimique vis-à-vis des milieux en présence. Des renseignements à cet égard se trouvent sur notre CD-ROM SIMCHEM. Notre service

de renseignements par téléphone est également à votre disposition.

D'autres critères sont la plage de température de service, l'utilisation dans le secteur alimentaire et l'éventuelle dilatation thermique linéaire.

Veillez noter que la plage de température de service du gainage intérieur peut être différente de celle du thermoplastique de base (voir § 4.3), notamment dans le cas des polymères fluorés.

### 1.2 Gainage amovible

Par souci d'exhaustivité, on abordera brièvement ici cette solution qui n'est pas à proprement parler du domaine des revêtements ni de la construction composite.

Par gainage amovible, on entend une cuve intérieure à paroi mince réalisée en un matériau chimiquement résistant qui est insérée de manière amovible dans un conteneur en matériau économique. Ce dernier, éventuellement muni d'un nervurage croisé, assure la résistance mécanique.

L'utilisation de ce système se limite généralement aux applications à température ambiante. Le conteneur externe et le gainage amovible n'étant pas solidaires, ce dernier est susceptible de se déformer à chaud. Selon la température, ce phénomène peut entraîner une défaillance du système.

Les dimensions du conteneur sont également limitées. Du fait de sa faible épaisseur de paroi, le gainage intérieur risque de s'affaisser à vide si le conteneur est trop grand. Un remède consiste à utiliser un haubannage entretoisé pour maintenir ensemble les

**Tableau 1 : Caractéristiques des thermoplastiques**

#### SIMONA®

Matériau SIMONA®	Coefficient moyen de dilata- tion thermique linéaire	Innocuité
	mm/m/°C	
PVC-CAW	0,08	-
PVC-MZ	0,10	-
PE-HWU	0,18	BgVV <sup>1</sup>
PP-DWU		FDA <sup>2</sup>
PP-C	0,16	
PP-EL		-
PVDF	0,13	FDA <sup>2</sup>
PVDF-C	0,14	DGCCTF <sup>3</sup>
E-CTFE	0,05	BgVV <sup>1*</sup>

<sup>1</sup> BgVV : Recommandations de l'Institut Fédéral Allemand de Protection de la Santé Publique et de la Médecine Vétérinaire (rapport 187 du Ministère de la Santé, feuillet 34, 296 [1991]).

\* Pour le E-CTFE : en préparation

<sup>2</sup> FDA : Food and Drug Administration (CFR 21, part 177.1520)

<sup>3</sup> DGCCTF : Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes (J.O. n° 1227/90 et ss.)

parois. On peut aussi poser un profilé en U recouvrant le bord supérieur du conteneur et du gainage pour éviter à ce dernier de s'affaisser vers l'intérieur.

Un tel système peut par exemple être utilisé pour la rénovation des conteneurs.

### 1.3 Adhésifs

Contrairement au PVC, les PE, PP, PVDF et E-CTFE ne se lient pas par dissolution aux résines habituellement utilisées pour la mise en oeuvre des PRV, comme les résines polyester, époxydes, polyuréthanes ou furaniques. Sans traitement préalable, aucun collage, laquage ni application directe de résine de liant n'est possible. C'est pourquoi SIMONA propose, pour les constructions composites, des plaques et des tubes munis de divers systèmes d'adhésivage :

- Maillé de polyester thermoplastique (SK) pour polyoléfines et PVDF
- Maillé de verre pour E-CTFE et, en option, pour PE, PP et PVDF
- Maillé de PP pour PP-C
- Prétraitement chimique (CV) spécial pour tubes PVDF

A la fabrication, le maillé de verre ou le maillé étirable est intimement ancré dans le matériau de gainage et couvre l'intégralité de la face de plaque ainsi équipée.

Un contre-collage de ce genre est par contre impossible en extrusion de tube. Les tubes de gainage SIMONA® en PP et PVDF, soumis à un traitement thermique ultérieur pour en minimiser les tensions internes, peuvent être contrecollés moyennant un traitement préalable par le client. Le tube liner est serré sur un mandrin et chauffé à la flamme. Le tissu ou la fibre de verre est ensuite noyé dans la surface

externe ramollie du tube par un procédé manuel ou automatique. Enfin, après refroidissement, le tube liner est contrecollé par un procédé de stratification classique.

Sont par ailleurs disponibles des tubes PVDF à surface chimiquement prétraitée, directement contrecollables. Ces tubes PVDF/-CV ont eux aussi été soumis à un traitement thermique ultérieur. Pour obtenir de bons résultats d'enduction/revêtement, il est nécessaire que la surface du liner ait été nettoyée, dégraissée et dépoussiérée à l'aide d'un non-tissé cellulosique imprégné d'un solvant (acétone, alcool, chlorure de méthylène).

## 2 Programme de livraison et prescriptions

Les matériaux liners du programme SIMONA sont conformes aux normes de l'industrie chimique applicables aux revêtements thermoplastiques. En effet, les semi-produits sont fabriqués en conformité ou en référence aux normes DIN ci-dessous (voir § 7 et tableau 2).

Il n'existe actuellement aucune norme qui concerne directement les polymères fluorés PVDF et E-CTFE. SIMONA fabrique donc les semi-produits en ces matériaux en référence aux normes mentionnées.

La DIN 28055, 1ère partie, prescrit une épaisseur de 3 mm pour les revêtements thermoplastiques appliqués sur les pièces métalliques. Avec les polyoléfines et les PVC, on applique plus souvent – lorsque c'est

possible – des épaisseurs de liner de 4 (à 5) mm de manière à respecter l'épaisseur maximale de thermoplastique selon la norme BS 6374, 1ère partie. Selon la norme BS 4994, l'épaisseur du revêtement ne doit pas être inférieure à 2,5 mm pour le PVC. Toujours selon cette norme, des défauts en service sont possibles avec les plaques d'épaisseur supérieure à 4,5 mm et à 40 °C. Pour les autres thermoplastiques, l'épaisseur du liner doit être d'au moins 2,0 mm.

Pour les tubes en polyester renforcé fibre de verre équipés d'un liner thermoplastique, la norme DIN 16965, 2è partie, prescrit un épaisseur de paroi minimale de 4 mm (à partir de  $d = 90$  mm) pour les liners en polyoléfines et en PVC, et de 3 mm pour les liners en PVDF (à partir de  $d = 63$  mm).

**Tableau 2 : Normes applicables à la fabrication des demi-produits**

	PVC-CAW PVC-MZ	PE-HWU-SK	PP-DWU-SK PP-C-PK Tube liner PP-B	PVDF-SK PVDF-GK Tube liner PVDF-CV	E-CTFE-GK
Matériau à mouler	DIN EN ISO 1163-1	DIN EN ISO 1872	DIN EN ISO 1873	Kynar	Halar
Dimensions (tubes)	-	-	8077	En référence à ISO 10931	En référence à ISO 10931
Qualité (tubes)	8062	8075	8078	-	-
Conditions techniques de livraison (plaques)	16927	DIN EN ISO 14632	DIN EN ISO 15013	En référence à DIN EN ISO 14632	En référence à DIN EN ISO 14632

## 2.1 Plaques

**Pour les produits à contre-collant dont l'épaisseur de liner est indiquée l'épaisseur de paroi résiduelle est l'épaisseur de paroi nominale.**

Les dimensions disponibles sont détaillées dans notre brochure « Plaques, joncs, profilés et fils à souder ».

Nous sommes à votre disposition pour tout renseignement détaillé et actualisé sur tous les matériaux.

Remarque :

La mise en oeuvre des liners de faible épaisseur nécessite un soin particulier et beaucoup d'habileté sanctionnée par une longue pratique (voir aussi § 4.2).

**Tableau 3 : Polyoléfinés (PE, PP)**

Produits	PE-HWU-SK	PP-DWU-SK	PP-C-PK	PVC-CAW	PVC-MZ
<b>Plaques</b>	2000 x 1000 3-5	2000 x 1000 3-6	2000 x 1000 3-6	2000 x 1000 0,8-30	2000 x 1000 0,8-30
	3000 x 1470 3-5	3000 x 1500 3-6	3000 x 1500 3-6	3000 x 1500 1,5-20	3000 x 1500 1,5-20
	20000 x 1470 3-5	20000 x 1500 3-5	20000 x 1500 3-5	2440 x 1220 1-25	

L'épaisseur de paroi nominale correspond à l'épaisseur de paroi résiduelle

**Types spéciaux** PP-EL-SK polypropylène électro-conducteur à contre-collant étirable

**Tableau 4: Matériaux hautes performances (PVDF, E-CTFE)**

Produits	PVDF-SK	E-CTFE-GK	PVDF-GK
<b>Plaques</b>	2000 x 1000 2-6	2000 x 1000 1,5-4	2000 x 1000 2-6
	3000 x 1500 2-5	10000 x 1000 2,3-4	
	20000 x 1500 2-5	20000 x 1000 2,3-4	

L'épaisseur de paroi nominale correspond à l'épaisseur de paroi résiduelle

**Types spéciaux** PVDF-C-SK copolymère de fluorure de polyvinylidène contrecollé étirable

Plaques : Longueur x largeur x épaisseur · Toutes dimensions en mm · Certains produits sont soumis à une quantité commandée minimale  
Autres types spéciaux sur demande

## 2.2 Tubes

Tubes liners SIMONA® PP-B (type 2) en diamètres d 32 à 400, tubes liners SIMONA® PVDF-CV en diamètres d 32 à 400 disponibles sur demande. Pour les dimensions disponibles, voir notre catalogue « Tubes et raccords ». Détensionnement par traitement thermique en reprise. Longueur standard : 5 m. Longueurs spéciales possibles jusqu'à 6,2 m.

## 2.3 Autres matériaux pour systèmes composites

Outre les types standards de matériaux pour constructions composites ici décrits, d'autres matériaux avec système de contre-collage sont disponibles sur demande (p. ex. tubes PVDF-EL-SK, PVDF-EL-CV, etc.). Toutefois, il convient de noter que les caractéristiques d'adhérence sous traction frontale de ces matériaux spéciaux peuvent différer de celles des types standards.

## 3 Informations techniques

### 3.1 Généralités

Pour les constructions composites, les matériaux liners de SIMONA® offrent une grande sécurité du fait de la qualité d'adhérence des résines, obtenue :

- pour le PVC, par stratification directe après nettoyage des surfaces,
- pour les PE, PP, PVDF et E-CTFE, par la solidité de la liaison du maillé par noyage dans le matériau du support,
- pour les tubes en PVDF-CV, par stratification directe sur la surface prétraitée chimiquement.

Caractéristiques particulières du contre-collant polyester (SK) :

- Bonne étirabilité dans les trois dimensions qui permet de former à chaud et d'obtenir des fonds bombés.
- Le maillé thermoplastique étirable doit être découpé avec soin, en particulier aux bords, pour éviter tout défaut de soudage.
- Le maillé polyester étant sensible à l'hydrolyse, il ne doit pas être utilisé à des températures > 80 °C. Avec les milieux fortement osmotiques, nous vous prions de bien vouloir consulter notre service technique d'application.

Caractéristiques particulières du contre-collant verre (GK)

- Par nature, le maillé de verre permet de former à chaud dans les trois dimensions (p. ex. pour les fonds bombés).
- Insensibilité à l'hydrolyse du fait de sa nature minérale (exceptions : acide chlorhydrique à haute température, acide fluorhydrique).
- Un découpage soigneux est nécessaire dans la région de la soudure pour éviter les défauts de soudage

Caractéristiques particulières du contre-collant polypropylène (PK) :

- disponible pour le PP-C,
- sous forme de maillé avec de remarquables caractéristiques de formage à chaud dans les trois dimensions,
- insensible à l'hydrolyse,
- résistance chimique identique à celle des plaques PP, d'où une durée de service plus longue des constructions composites en présence de milieux fortement osmotiques,
- découpage du maillé inutile dans les régions de soudure.

Caractéristiques particulières des surfaces prétraitées chimiquement :

- concerne les tubes SIMONA® en PVDF,
- découpage de la couche prétraitée inutile dans les régions de soudure,
- simple nettoyage de la surface par brosse souple (mécanique) à l'acétone ou à l'alcool,
- meilleure résistance chimique du composite du fait de la résistance à l'hydrolyse de la surface prétraitée.

### 3.2 Critères de résistance d'adhérence

Contrairement aux constructions composites PVC-PRV (stratification directe), la résistance des matériaux de liner nécessitant un système contre-collant est conditionnée par l'ancrage du tissu dans le thermo-plastique.

Divers essais renseignent sur la qualité de la liaison composite, dont :

- l'essai d'adhérence sous traction frontale DIN 53766, 1ère partie
- l'essai de cisaillement ISO 14130  
BS 4994  
DIN 65148
- l'essai d'arrachement BS 4994  
NFT 57-900
- l'essai de cisaillement annulaire ou sectoriel DIN 53769, 1ère partie

Dans le cadre de l'assurance qualité, nous testons toujours la résistance d'adhérence de nos matériaux de liner à température ambiante par un essai d'adhérence sous traction frontale pour les plaques, et par un essai de cisaillement pour les tubes liners SIMONA® PVDF. Notre programme d'essai est complété par des mesures périodiques à chaud et par des essais d'arrachement et de cisaillement. Les résistances d'adhérence indiquées dans le tableau ci-après sont des **valeurs moyennes** basées sur les essais internes indiqués.

Ces données renseignent le transformateur et l'utilisateur final sur les domaines d'application possibles. Elles attestent également de la possibilité d'obtenir une résistance élevée de la liaison composite et une longue durée de service des constructions réalisées.

#### 3.2.1 Essai d'adhérence sous traction frontale

(en référence à la DIN 53766, 1ère partie)

Généralement, la résistance d'adhérence minimale entre le matériau de revêtement et le stratifié support est régie par des normes internes au transformateur ou au donneur d'ordre. Les valeurs suivantes peuvent être considérées comme indicatives de la résistance minimale à atteindre dans le cadre de l'essai d'adhérence sous traction frontale :

- PVC/GF-UP 7 N/mm<sup>2</sup>
- PVDF/GF-UP 5 N/mm<sup>2</sup>
- PP/GF-UP 3,5 N/mm<sup>2</sup>
- PE/GF-UP 2,5 N/mm<sup>2</sup>

**Tableau 5 : Adhérence sous traction frontale** Valeurs moyennes en N/mm<sup>2</sup> (d'après contrôles internes)

Palatal A 410	23 °C	50 °C	80 °C	100 °C
PE-HWU-SK	3,5	3	-	-
PP-C-PK/PP-DWU-SK	4,5	4	3	-
PVC-CAW/-MZ	10	8	-	-
PVDF-SK	7	5	4	3
E-CTFE-GK	7	6	4	3

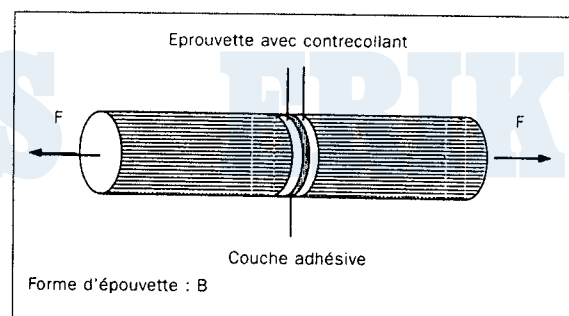


Figure 1

#### 3.2.2 Essai de cisaillement

(selon la BS 4994/en réf. à la DIN 65148)

Pour le dimensionnement et la construction des conteneurs et des réservoirs en plastique renforcé, la résistance d'adhérence minimale à température

ambiante prescrite est de 7,0 N/mm<sup>2</sup> pour les composites de GF-UP/VE (mats de fibre de verre) et de thermoplastiques (BS 4994).

**Tableau 6 : Résistance au cisaillement** Valeurs moyennes en N/mm<sup>2</sup> (d'après contrôles internes)

Palatal A 410	23°C	50°C	80°C	100°C
PP-C-PK/PP-DWU-SK	7	5	4	-
PVC-CAW/-MZ	11	9	-	-
PVDF-SK	11	8	7	4
E-CTFE-GK	10	7	5	3

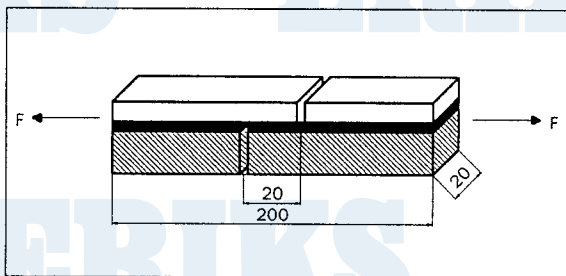


Figure 2

### 3.2.3 Essai de pelage

(en référence aux BS 4994 et NF T 57-900)

La norme française NF T 57-900 « Réservoirs et appareils en matières plastiques renforcées : Code de construction », prescrit, comme la norme britannique BS 4994, une résistance minimale au pelage de 5 N/mm.

**Tableau 7 : Résistance au pelage** Valeurs moyennes en N/mm (d'après contrôles internes)

Palatal A 410	20°C	50°C	80°C	100°C
PP-DWU-SK	10	6	3	-
PP-C-PK	13	8	4	-
PVC-CAW/-MZ	15	10	-	-
PVDF-SK	15	10	7	4
E-CTFE-GK	17	13	8	5

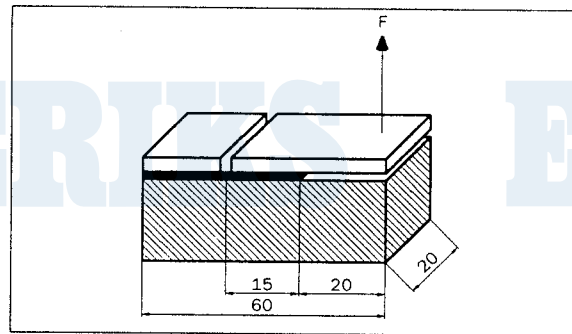


Figure 3

### 3.2.4 Essai de cisaillement annulaire ou sectoriel

La résistance de liaison des tubes liners SIMONA® PVDF-CV et de la couche de résine est caractérisée par la contrainte de cisaillement à l'adhérence d'après la DIN 53769, 1ère partie. Cette propriété peut être rapprochée de la charge admissible d'une liaison (de tubes) en fonction de la température ou des variations de température. Pour les tubes jusqu'à DN 90, l'examen est réalisé au moyen de l'essai de cisaillement annulaire. La figure 4 illustre un tel essai pour les tubes de diamètre extérieur  $d > 90$  mm.

**Tableau 8 : Résistance au cisaillement annulaire/sectoriel** Valeurs moyennes en N/mm<sup>2</sup>

Palatal A 410	20°C	50°C	80°C
Tube PVDF-CV	8	6	4

Les tubes enroulement GF-UP avec tube liner PVDF-CV de SIMONA® dépassent la résistance minimale au cisaillement de 5 N/mm<sup>2</sup> prescrite par la DIN 16964. Les mesures pratiquées sur un tube composite à tube liner PVDF-CV ( $d_a = 125$  mm,  $e = 3$  mm) de SIMONA® permettent de transposer ces résultats à des stratifiés d'autres résines.

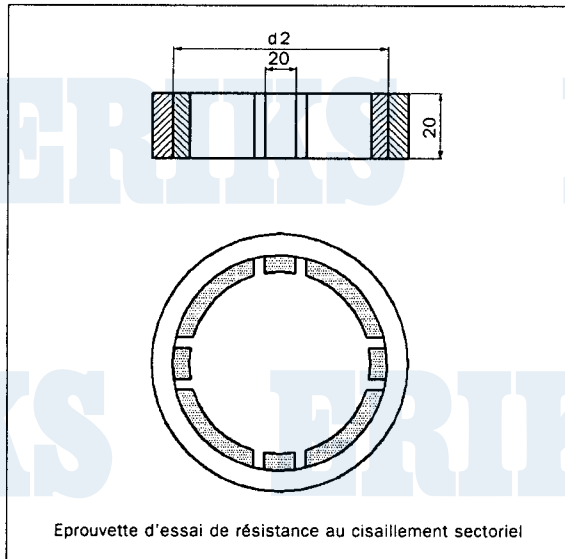


Figure 4

Ainsi que l'ont montré les mesures réalisées dans notre laboratoire, des résines différentes peuvent donner lieu à des valeurs différentes de résistance de cisaillement à l'adhérence, même si ces résines appartiennent au même groupe chimique (p. ex. les résines polyesters). Toutefois, toutes les résines que nous avons testées respectent les valeurs minimales imposées.

Il n'est pas rare que les résines dont la résistance de cisaillement à l'adhérence est plus élevée soient aussi plus onéreuses. La décision d'opter pour un système de résine pour une certaine application dépend aussi de considérations financières et, de ce fait, appartient au transformateur ou à l'utilisateur.

Outre la question des contraintes chimiques, les pressions négatives et les écarts fréquents de température influent souvent sur le comportement des constructions composites. A cet égard, un façonnage sans bulles d'air est une condition nécessaire importante si l'on veut pouvoir utiliser un système composite pendant des années sans problèmes.

## 4 Façonnage et mise en oeuvre des plaques liners

Nous avons déjà traité des recommandations de façonnage, notamment pour le soudage, le formage à chaud/thermoformage et le collage, dans nos documentations respectives sur les produits ou les techniques de façonnage. Toutefois, des remarques supplémentaires s'imposent pour la mise en œuvre des plaques liners.

### 4.1 Collage du PVC

Avant de coller à l'aide de résines époxydes, polyuréthanes ou polyesters insaturées, on conseille généralement d'augmenter l'interface d'accroche par un grattage du PVC rigide.

Généralement, cette opération entraîne, lors de l'application ultérieure de la couche de résine, un « rabattage » des fines barbes de PVC qui supprime une partie de la surface d'adhérence disponible. Nos études, ainsi que les recherches effectuées par les fabricants d'adhésifs et les transformateurs, ont montré qu'il était préférable d'essuyer simplement les semi-produits à l'aide d'un chiffon propre. Si l'on suspecte une contamination des surfaces par des résidus organiques (p. ex. des graisses), on peut appliquer à celles-ci un rapide nettoyage à l'acétone ou au chlorure de méthylène

### 4.2 Liners minces

En raison de l'ampleur des moyens techniques ou de main d'œuvre impliqués, ou de la qualité supérieure du liner utilisé, le coût d'un réservoir en PRV à gainage intérieur ou d'un réservoir en acier à revêtement peut être un facteur important pour les services achats. Dans le cas des plastiques fluorés, les considérations de prix incitent à réduire l'épaisseur du liner, ce qui accroît les risques au niveau du façonnage et de l'utilisation en service. Une défaillance prématurée d'un système peut entraîner d'énormes coûts de sinistre (Tableau 9).

Outre les autres prescriptions applicables aux liners thermoplastiques (§ 2), il convient à notre avis de ne pas descendre en-dessous des épaisseurs de liner suivantes :

- 3 mm pour les polyoléfinés et le PVC
- 2,3 mm pour les polymères fluorés

**Tableau 9 : Les risques associés aux liners trop minces**

Risques au façonnage	Risques en service
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Risque de perforation accru, p. ex. par suite de choc, qui augmente la longueur des soudures</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Plus grande perméation du milieu du fait de la faible épaisseur de paroi et du déport à la soudure</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Plus grande sensibilité à l'entaille dans la région de soudure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Plus grande sensibilité à la fissuration sous contrainte en présence, p. ex. de milieux oxydants</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Déports plus important à l'aboutement des plaques du fait d'irrégularités du support ou des tolérances</li> </ul>	

### 4.3 Mise en oeuvre à température élevée

Les systèmes contre-collants des plaques liners de SIMONA® adhèrent solidement au matériau de base et au stratifié-support, même à chaud (voir § 3). En pratique, de nombreux facteurs influent sur la combinaison matériau de liner/système contre-collant. De ce fait, indépendamment du système de résine utilisé, on peut indiquer les températures maximales de mise en oeuvre suivantes :

- PE-HWU-SK ≤ 60 °C
- PP-C-PK/PP-DWU-SK ≤ 80 °C
- PVDF-SK ≤ 90 °C
- PVDF-GK/E-CTFE-GK ≤ 100 °C
- PVDF-CV ≤ 90 °C
- PVDF-CAW/-MZ ≤ 60 °C

Des cas d'application à des températures de 10 à 20 °C supérieures sont connus, notamment avec les plastiques fluorés. Ils demandent par conséquent un soin particulier à l'évaluation et à l'exécution.

Lorsqu'un liner thermoplastique est utilisé dans le haut de la plage de température, il convient d'éviter les variations fréquentes et rapides de la température qui risquent de nuire au système composite (p. ex. par décohésion).

S'il est vrai que les thermoplastiques ont une certaine capacité de résistance aux produits chimiques, ils sont occasionnellement perméables aux substances à faible poids moléculaire. Ceci est négligeable pour les constructions non-composites. Pour les constructions composites, notamment dans le haut de la plage de température, il convient de tenir compte des éventuelles différences de perméabilité du matériau de renfort et du matériau de liner, car le produit perméant peut attaquer et finir par détruire le contre-collant (le maillé), puis le système de résine et enfin la coque extérieure de protection.

Des renseignements sur la perméabilité sont disponibles sur notre CD-ROM SIMCHEM à la rubrique « Principes de base \ Plastiques et produits chimiques \ Comportement des plastiques \ Perméabilité ».

A ce stade, résumons brièvement quelques détails importants au sujet de la perméabilité :

le mécanisme de la perméation, qui est caractérisé par le gradient de concentration du produit chimique concerné entre la face interne et la face externe de la couche-barrière, se décompose en trois étapes :

- dissolution du produit perméant dans le polymère
- diffusion à travers le polymère
- désorption du polymère

La somme de ces trois étapes renseigne sur la quantité de la perméation sur un temps donné. L'affaiblissement ou l'empêchement d'une de ces étapes agira en conséquence sur la perméation.

La perméation dépend notamment de la température et de l'épaisseur de paroi. La quantité de perméation sur un temps donné croît avec la température et décroît à l'inverse de l'épaisseur de plaque. Pour limiter sensiblement la perméation, on peut donc abaisser la température et/ou augmenter l'épaisseur du liner. Cette dernière solution n'est applicable que dans d'étroites limites pour des raisons techniques de fabrication et de façonnage.

La littérature spécialisée donne quelquefois des valeurs de perméation différentes pour des produits chimiques et des matériaux identiques. Les mesures sont généralement effectuées sur des feuilles minces et ne sont pas directement transposables à des parois plus épaisses en matières plastiques.

Les valeurs de mesure que l'on trouve dans la littérature se rapportent généralement à une perméation

dont les trois étapes évoquées ci-dessus n'ont été ni contrariées, ni empêchées. Il en va différemment dans le cas des constructions composites ou des revêtements dans l'hypothèse d'un façonnage sans bulles d'air. Dans cette hypothèse, le système de résine a déjà une influence sur l'étape de « désorption du polymère » dans le sens d'une diminution de la perméation.

Notamment aux températures élevées et avec les produits chimiques à petites molécules, la perméation ne peut pas être totalement exclue. C'est pourquoi nous recommandons de consulter le producteur du système de résine pour chaque cas d'application particulier.

## 5 Mise en œuvre des matériaux liners

En service prolongé, les tensions internes des thermoplastiques diminuent. Mais ces matériaux sont également sujets à des phénomènes de dilatation et de fluage, en particulier en présence d'une sollicitation mécanique (permanente). Ces phénomènes sont pris en compte lors de la conception d'un élément constitutif.

Pour les récipients de grande contenance, on dimensionne de ce fait de fortes épaisseurs de paroi. Il en résulte très souvent des problèmes de façonnage, lesquels entraînent souvent des coûts de fabrication élevés. Surtout pour la construction d'appareils, le Génie chimique a amélioré les bilans économiques d'une manière décisive par la combinaison de deux ou plusieurs matériaux. En vertu de leur mode de fabrication, on distingue à cet égard les constructions composites et les revêtements intérieurs.

### 5.1 Constructions composites

Les constructions composites à l'aide des plaques liners de SIMONA® allient une forte résistance chimique et thermique aux bonnes caractéristiques structurales des résines polyester et époxydes.

Exemples :

- Construction de laboratoire :  
Plaques en PP ou PVDF avec système de contre-collage collées sur panneaux de bois ou d'aggloméré à l'aide d'adhésifs bicomposants, p. ex. à base de polyuréthane

Récipient composite :

- Les matériaux sont à sélectionner notamment d'après les critères du § 1.1  
Stratification directe, après nettoyage, de plaques PVC avec des résines réactives et des produits de renfort (voir § 1.4).

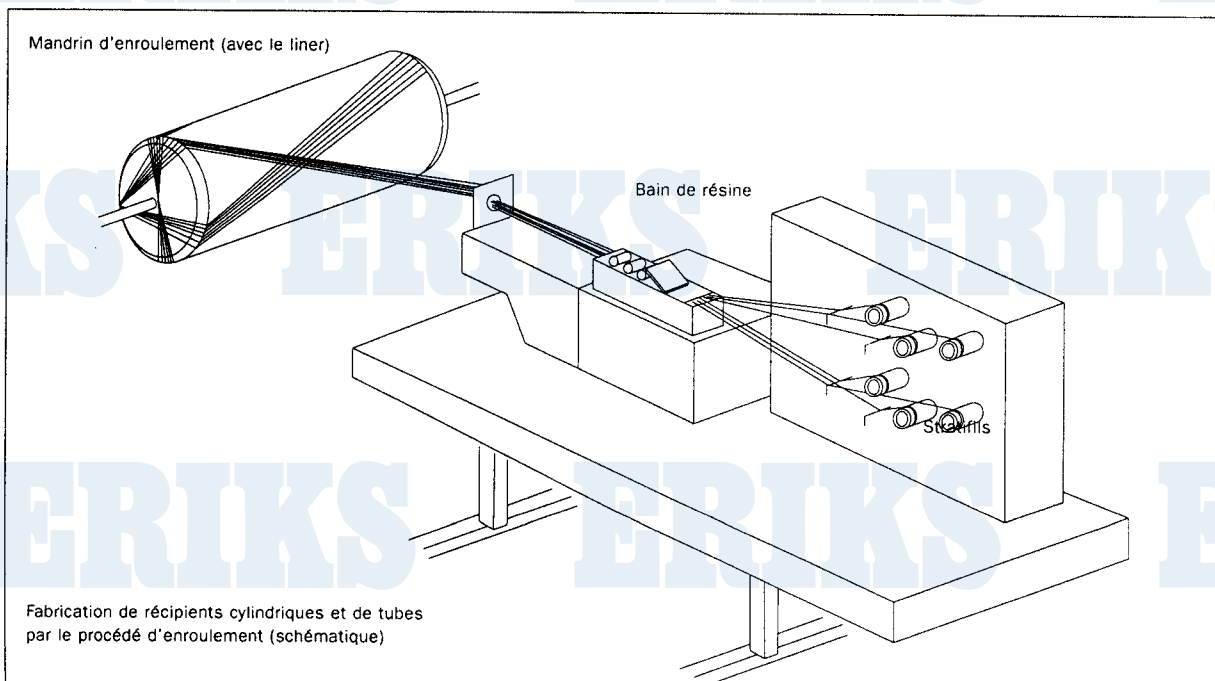


Figure 5

Un composite de liner thermoplastique et de stratifiés-supports en thermodurcissable renforcé fibre de verre convient très bien à la fabrication de récipients cylindriques. Après préparation adéquate, les liners en plaque ou en bande continue sont soudés ensemble sur un mandrin d'enroulement et, après application d'une bande de fibre de carbone pour les essais de réception (voir § 5.3), stratifiés en voie humide avec de la résine et un mat de verre ou des stratifils.

Tout comme des récipients cylindriques, il est aussi possible de fabriquer des tubes en polypropylène ou en E-CTFE. Si la surface à stratifier ne comporte pas de système d'adhésivage, on commence par noyer le tissu de verre dans la surface ramollie à la flamme, puis on procède comme ci-dessus après refroidissement. A partir du grand nombre de types de résine disponibles et de leurs mélanges, nous avons obtenu des valeurs de résistance d'adhérence positives pour des recettes à base des résines suivantes (voir tableau 10).

Par des modifications des recettes, nous avons pu moduler les caractéristiques du stratifié-support ou de la couche de résine vierge.

En présence de contraintes alternées de température et de pression, l'addition de types souples permet d'augmenter la ténacité de la résine utilisée. A cet effet, les premières couches sont appliquées avec de la résine souple vierge ou en mélange avec la résine à utiliser. Citons à titre d'exemple le Palatal E 200 avec la résine de base Palatal A 410, particulièrement bien adapté pour la liaison sur PVC. L'addition d'inhibiteurs de polymérisation permet d'abaisser la température de durcissement du stratifié support, ce qui réduit les tensions internes de la résine et favorise l'adhérence entre le liner et le stratifié. En cas de sollicitations chimiques extrêmes du liner et en cas de perméation, il peut être nécessaire d'appliquer en plus une couche de résine vierge de caractéristiques déterminées.

## 5.2 Revêtements internes

L'historique de la construction des installations et des appareils montre que les structures métalliques ont été utilisées en raison de leur relative facilité technique de fabrication et de leur grande sécurité moyennant des coûts matières et des coûts de fabrication abordables.

**Tableau 10 : Températures de mise en oeuvre de quelques résines**

Nom commercial	Type	Fabricant	Température maxi <sup>1</sup>
Atlac 382	U-Polyester	DSM	env. 100°C
Derakane 411	Vinylester	Dow Chemicals	env. 105°C
Derakane 470	Vinylester	Dow Chemicals	env. 140°C
Palatal-A 410	U-Polyester	DSM	env. 80°C
Atlac 430	Vinylester	DSM	env. 105°C
Palatal-E 200	U-Polyester	DSM	température ambiante
Sconoran UP-UN 2	U-Polyester	BSL GmbH	env. 80°C

<sup>1</sup> déduite des données du fabricant

En présence de milieux fortement corrosifs, il est rare que les alliages spéciaux répondent aux exigences économiques et techniques correspondantes. Les revêtements thermoplastiques peuvent combler ce manque. En particulier, les plastiques fluorés ont fait leurs preuves dans ce domaine d'application depuis des années.

Pour la fabrication, le récipient à revêtir est d'abord soigneusement débarrassé de toute trace de rouille, d'huile, de graisse et d'autres impuretés. La surface est ensuite décapée, de préférence par sablage. Après décapage, l'état de surface doit correspondre au degré comparatif Sa 2 1/2 à Sa 3. Des indications relatives à l'exécution de ce procédé et à l'appréciation

des états de surface se trouvent dans les normes ISO 8504, 2ème partie, ISO 8501, 1ère partie et DIN EN ISO 12944, 4ème partie.

Les autres critères à respecter par les surfaces métalliques destinées à recevoir un revêtement thermoplastique sont indiqués dans les normes DIN 28051 et 28053, ainsi que dans la norme britannique BS 6374, 1ère partie.

Sur les surfaces d'assemblage préparées, on applique l'adhésif de manière régulière à l'aide d'une spatule dentelée, en veillant à la durée de vie en pot, et on applique le liner, enduit de la même manière, sur la surface d'acier.

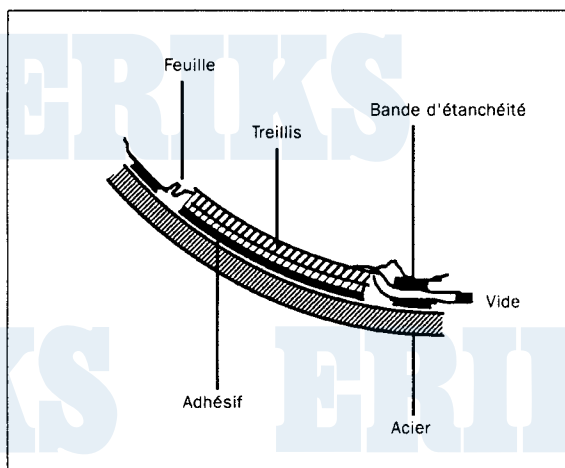


Figure 6

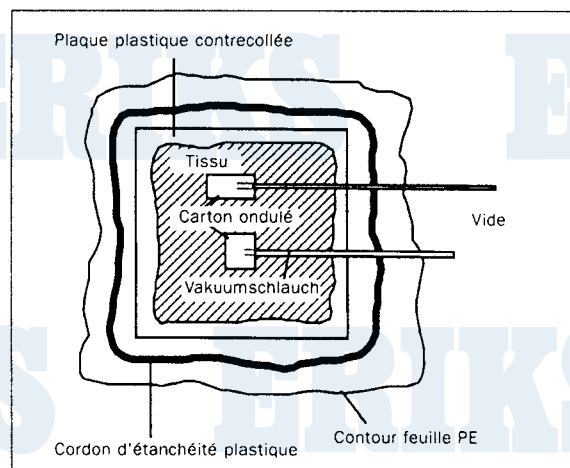


Figure 7

**Tableau 11 : Température de mise en oeuvre de quelques résines époxydes**

Nom commercial	Type	Fabricant	Température maxi <sup>1</sup>
Araldite 2013 (AV 144-2/HV 997)	époxyde	Ciba-Geigy AG	env. 60°C
Araldite AV 4415/Härter HV 4416	époxyde	Ciba-Geigy AG	env. 180°C
Araldite AW 136H/Härter HV 997	époxyde	Ciba-Geigy AG	env. 70°C
Araldite AV 138/Härter HV 998	époxyde	Ciba-Geigy AG	env. 120°C
Araldite 2014 (AW 139/XB5323)	époxyde	Ciba-Geigy AG	env. 120°C

<sup>1</sup> déduite des données du fabricant

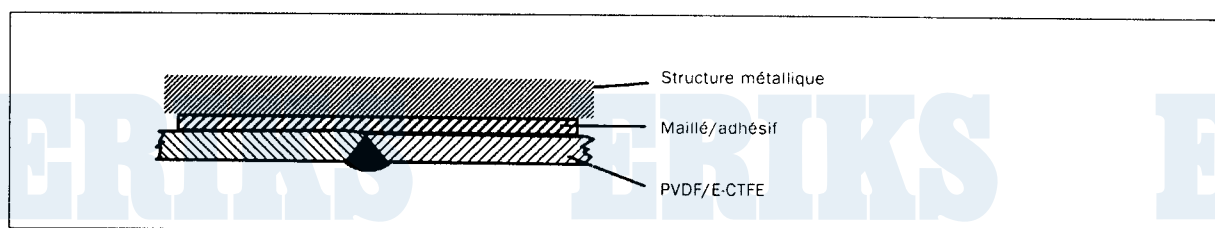


Figure 8

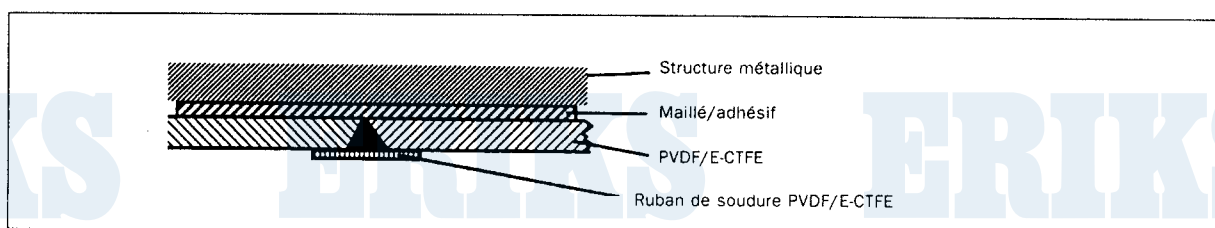


Figure 9

Pour obtenir une liaison optimale, le liner doit être appliqué fortement et régulièrement en tout point de la surface d'acier. On peut à cet effet appliquer le vide. Le principe est illustré dans le schéma en figure 7.

Une toile de jute placée entre le liner et la feuille PE assure une aspiration totale de l'air et, par suite, une pression d'application homogène.

L'application du vide doit créer une différence de pression supérieure à 0,8 bar.

Pour le collage du liner sur l'acier, on utilise de préférence une colle à base Epoxy. Pour l'application de la colle et ses conditions d'utilisation (p. ex., températures, produits chimiques), on consultera le fabricant de colle.

A partir du grand nombre de types de colle disponibles et de leurs mélanges, nous avons obtenu des valeurs de résistance d'adhérence positives avec les recettes du Tableau 10.

Comme pour les résines de construction composite, un ensemble de critères (chaleur, contraintes de choc, résistance chimique, etc.) permet de déterminer une combinaison de colles optimale.

En fonction de l'épaisseur de couche requise, la consommation de colle se situe entre 0,5 et 2 kg/m<sup>2</sup> de surface.

A l'aide d'un racloir en V, on élimine les restes de résine aux joints des plaques ou morceaux de plaque encollés et, dans la même étape, on prépare la soudure. Le soudage est à exécuter conformément aux normes applicables, comme p. ex. la DVS 2207. D'autres informations sont disponibles dans notre documentation « Soudage » et dans les brochures matériaux respectives.

Les bandes de couverture appliquées par soudage, telles que décrites dans la 1<sup>ère</sup> partie de la DIN 28055, sont destinées à protéger la soudure (au gaz chaud) contre l'action des milieux environnants. Ce

second soudage donne naissance à des tensions internes (supplémentaires) dans la région de soudure ainsi élargie, si bien qu'à notre avis, les risques s'en trouvent accrus en présence de milieux très agressifs générateurs de fissuration sous contrainte. C'est pourquoi nous considérons que ce type de soudure n'est applicable que sous conditions.

Remarque :

Le collage et le soudage des joints de plaques exigent une grande expérience et ne doivent être exécutés que par du personnel spécialisé.

### 5.3 Essais de réception

Pour vérifier l'aptitude à l'utilisation d'un conteneur, divers essais sont exécutés, par exemple selon la DIN 28055, 2ème partie. Dans le cas des constructions composites et des revêtements par liners thermoplastiques, deux de ces essais sont particulièrement importants :

- 1) celui de la résistance d'adhérence résine/adhésif
- 2) celui de l'étanchéité des soudures.

#### 5.3.1 Résistance d'adhérence

On réalise des échantillons en parallèle à la construction du conteneur ou on prélève des éprouvettes dans la région des orifices de piquage par bride du conteneur terminé, puis on les teste comme indiqué au § 3.2.

#### 5.3.2 Etanchéité des soudures

Pour les matériaux non conducteurs, l'étanchéité du liner et des soudures est généralement testée par électro-induction à température ambiante. Les appareils d'essai par impulsions redressées à haute tension se sont avérés particulièrement peu destructifs pour les matériaux.

Dans le cas des constructions composites, on insère dans la première couche de résine des bandes de fibre de carbone, disponibles p. ex. auprès de la société Schlösser & Cramer de Wuppertal (RFA). Cette bande doit être reliée à la terre pour l'essai. Pour les revêtements des conteneurs en acier ou en béton, ceci n'est pas indispensable.

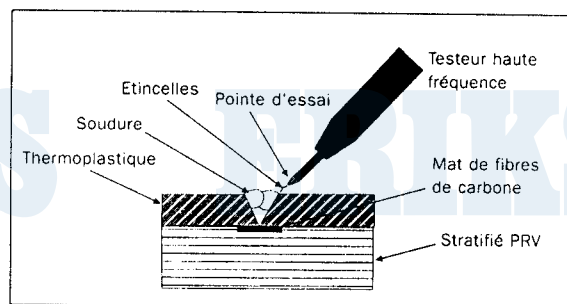


Figure 10

Outre les conditions ambiantes, ce sont avant tout le type d'électrode et la vitesse d'essai qui influent sur le résultat de l'essai par électro-induction.

Dans l'état actuel de l'expérience, on sait qu'une vitesse d'essai comprise entre 20 et 40 cm/s permet de détecter les fissures, les porosités et les hétérogénéités de la région de soudure. Il convient d'éviter de s'attarder sur un même point, comme par exemple en voulant tester plusieurs fois une soudure sur un court laps de temps, car ceci risque d'affecter la fonctionnalité du liner.

Tableau 12 : Rigidité diélectrique ( $E_d$ ) des Matières plastiques

Matériau SIMONA*	$E_d$ (kV/mm) mesurée sur plaque de 1 mm d'épaisseur
PE-HWU	47
PP-DWU	58
PVC-CAW	39
PVC-MZ	34
PVDF	25

Le choix de la tension d'essai est particulièrement important, celle-ci étant à déterminer en fonction de l'épaisseur de paroi du polymère.

Les publications anciennes indiquent habituellement une tension d'essai de 5 kV par mm d'épaisseur de liner. Les champs électriques à haute fréquence influent sur les propriétés diélectriques des polymères.

Les plastiques halogénés, en particulier le PVDF, sont plus sensibles aux champs à haute tension que les polyoléfinés (voir Tableau 12). C'est pourquoi la tension d'essai doit être réglée **entre 3 et 4 kV au maximum par mm d'épaisseur** de liner. Le contact avec la surface plastique élimine les pertes de tension dans le diélectrique air.

Remarque :

L'application répétée de l'essai par électro-induction à un matériau de liner, en particulier si ce dernier n'est pas neuf, réduit sa rigidité diélectrique et doit, de ce fait, être évitée. Les milieux sorbitiques peuvent avoir le même effet. Il est par conséquent impérativement recommandé de sécher le liner avant essai.

## 6 Conseil et renseignements

Nos commerciaux et nos techniciens d'application possèdent une longue expérience de l'utilisation et du façonnage des semi-produits thermoplastiques. C'est avec plaisir qu'il vous conseilleront.

Les informations présentées dans ce document n'ont aucune prétention à l'exhaustivité. Il va de soi qu'il existe d'autres procédés de revêtement qui sont actuellement utilisés, le « procédé sous vide » ici décrit correspondant à l'état général actuel de la technique.

Les mélanges résines/colles et les valeurs de résistance d'adhérence sont mentionnés dans ce document à titre informatif et ne sont pas transposables à tous les cas d'application.

## 7 Bibliographie

1. ISO 8501, 1ère partie (12/88) Préparation des subjectiles d'acier avant application de peintures et de produits assimilés; Evaluation visuelle de la propreté d'un subjectile  
Degrés de rouille et degrés de préparation des subjectiles d'acier non recouverts et des subjectiles d'acier après décapage sur toute la surface des revêtements précédents
2. ISO 8504 Préparation des subjectiles d'acier avant application de peintures et de produits assimilés
  - 1ère partie (03/00) Principes généraux
  - 2ème partie (03/00) Décapage par projection d'abrasif
  - 3ème partie (08/93) Nettoyage à la main et à la machine
3. ISO 10931 Système de canalisation en matières plastiques pour les applications industrielles – Poly(fluorure de vinylidène) (PVDF)
  - 1ère partie (02/97) Généralités
  - 2ème partie (02/97) Tubes
4. ISO 14130 (12/97) Composites plastiques renforcés de fibres – Détermination de la résistance au cisaillement interlaminaire apparent par essai de flexion sur appuis rapprochés
5. DIN EN ISO 1163 Poly(chlorure de vinyle) non plastifié (PVC-U) pour moulage et extrusion
  - 1ère partie (10/99) Système de désignation et base de spécification
  - 2ème partie (10/99) Préparation des éprouvettes et détermination des propriétés
6. DIN EN ISO 1872 Polyéthylène (PE) pour moulage et extrusion
  - 1ère partie (10/99) Système de désignation et base de spécification
7. DIN EN ISO 1873 Polypropylène (PP) pour moulage et extrusion
  - 1ère partie (12/95) Système de désignation et base de spécification
  - 2ème partie (12/00) Préparation des éprouvettes et détermination des propriétés
8. DIN EN ISO 12944-4 (07/98) Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture  
Types de surface et de préparation de surface
9. DIN EN ISO 14632 (05/99) Plaques extrudées en polyéthylène (PE-HD) – Prescriptions et méthodes d'essai
10. DIN EN ISO 15013 (05/99) Plaques extrudées en polypropylène – Prescriptions et méthodes d'essai
11. DIN 8061 (8/94) Tubes en poly(chlorure de vinyle) non plastifié  
Prescriptions générales de qualité
12. DIN 8062 (11/88) Tubes en poly(chlorure de vinyle) non plastifié – Dimensions
13. DIN 8074 (08/99) Tubes en polyéthylène PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD – Dimensions
14. DIN 8075 (08/99) Tubes en polyéthylène PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD  
Prescriptions générales de qualité, dimensions
15. DIN 8077 (07/99) Tubes en polypropylène PP-H 100, PP-B 80, PP-R 80 – Dimensions
16. DIN 8078 (04/96) Tubes en polypropylène PP-H (type 1), PP-B (type 2), PP-R (type 3);  
Prescriptions générales de qualité, essais
  - 2ème partie (12/00) Préparation des éprouvettes et détermination des propriétés

17. DIN 16927 (12/88) Plaques en poly(chlorure de vinyle) non plastifié – Conditions techniques de livraison
18. DIN 16964 (11/88) Tubes en résines polyesters renforcées fibre de verre, enroulés  
Prescriptions générales de qualité, essais
19. DIN 16965, 2ème partie (7/82) Tubes en résines polyesters renforcées fibre de verre, enroulés, type B  
Dimensions
20. DIN 28051 (07/97) Constructions d'appareils chimiques – Enduction et revêtement des pièces métalliques par des matériaux organiques, Structure des pièces métalliques
21. DIN 28053 (04/97) Constructions d'appareils chimiques – Enduction et revêtement des pièces métalliques par des matériaux organiques  
Prescriptions applicables aux surfaces métalliques
22. DIN 28055 Constructions d'appareils chimiques – Enduction et revêtement des pièces métalliques par des matériaux organiques  
1ère partie (04/02) Prescriptions  
2ème partie (04/02) Preuve d'aptitude et essais
23. DIN 53766, 1ère partie (11/91) Essais des appareils et récipients en plastiques renforcés fibre de verre  
Détermination de la résistance d'adhérence par l'essai d'adhérence sous traction frontale
24. DIN 53769, 1ère partie (11/88) Essais des appareils et récipients en plastiques renforcés fibre de verre  
Détermination de la contrainte de cisaillement à l'adhérence de parties de tuyauterie en fonction du type de tube
25. DIN 55670 (5/94) Peintures et produits de revêtement similaires – Essai de porosité et de fendillement des peintures, enduits et revêtements similaires par la méthode par haute tension
26. DIN 65148 (11/86) Aéronautique et astronautique – Essai des plastiques renforcés par des fibres, Détermination de la résistance au cisaillement interlaminaire par essai de traction
27. DVS 2206 (11/75) Essais des éléments constitutifs et des structures en thermoplastiques
28. DVS 2207, 3ème partie (04/86) Soudage des thermoplastiques par le procédé au gaz chaud, plaques et tubes
29. DVS 2212, 1ère partie (10/94) Essais de soudage des plastiques, groupe d'essai 1  
Soudage au gaz chaud pulsé (WF), soudage par aspiration de gaz chaud (WZ), soudage bout-à-bout par élément chauffant (HZ)
30. NF T 57-900 (12/87) Réservoir et appareils en matières plastiques renforcées,  
Code de construction
31. BS 4994 (1987) Conception et fabrication des récipients et des réservoirs en plastiques renforcés, Cette norme est applicable en liaison avec sa modification de 1990
32. BS 6374 (1985) Gainage intérieur des matériels industriels par des matériaux polymériques  
1ère partie : Prescriptions de gainage par plaque thermoplastique