

## **Instructions de transformation**

Revêtement et Matériau Composite

# 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 haubanage entretoisé pour maintenir ensemble les

**Tableau 1 : Caractéristiques des thermoplastiques SIMONA®**

Matériau SIMONA®	Coefficient moyen de dilatation thermique linéaire mm/m/°C	Innocuité
PVC-CAW	0,08	–
PVC-MZ	0,10	–
PE-HWU	0,18	BgVV <sup>1</sup>
PP-DWU	0,16	FDA <sup>2</sup>
PP-C		
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**

	<b>PVC-CAW PVC-MZ</b>	<b>PE-HWU-SK</b>	<b>PP-DWU-SK PP-C-PK Tube liner PP-B</b>	<b>PVDF-SK PVDF-GK Tube liner PVDF-CV</b>	<b>E-CTFE-GK</b>
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 : Polyoléfines (PE, PP)**

Produits	PE-HWU-SK	PP-DWU-SK	PP-C-PK	PVC-CAW	PVC-MZ
Plaques	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
Plaques	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  
NF T 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

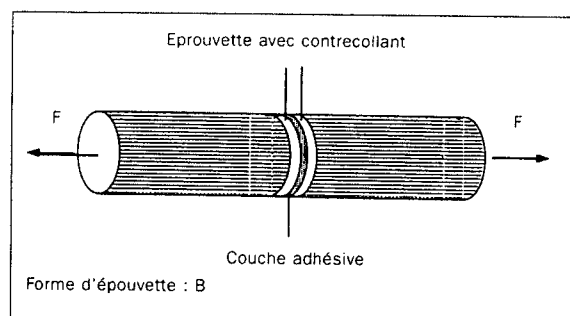


Figure 1

### 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

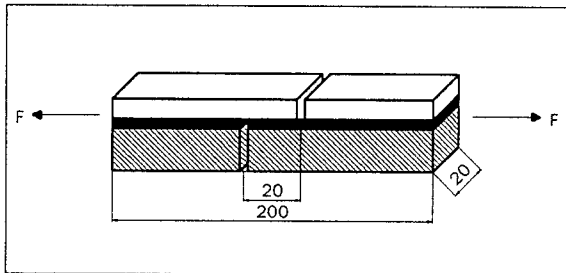


Figure 2

### 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

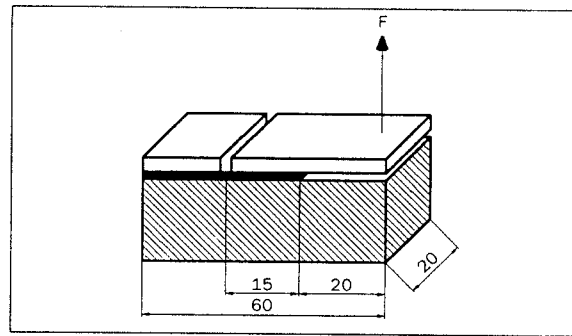


Figure 3

### 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.

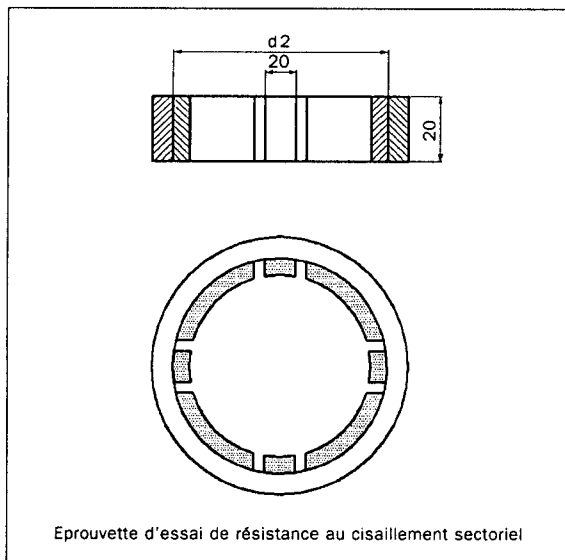


Figure 4

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 polyoléfines 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 polyesters 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).

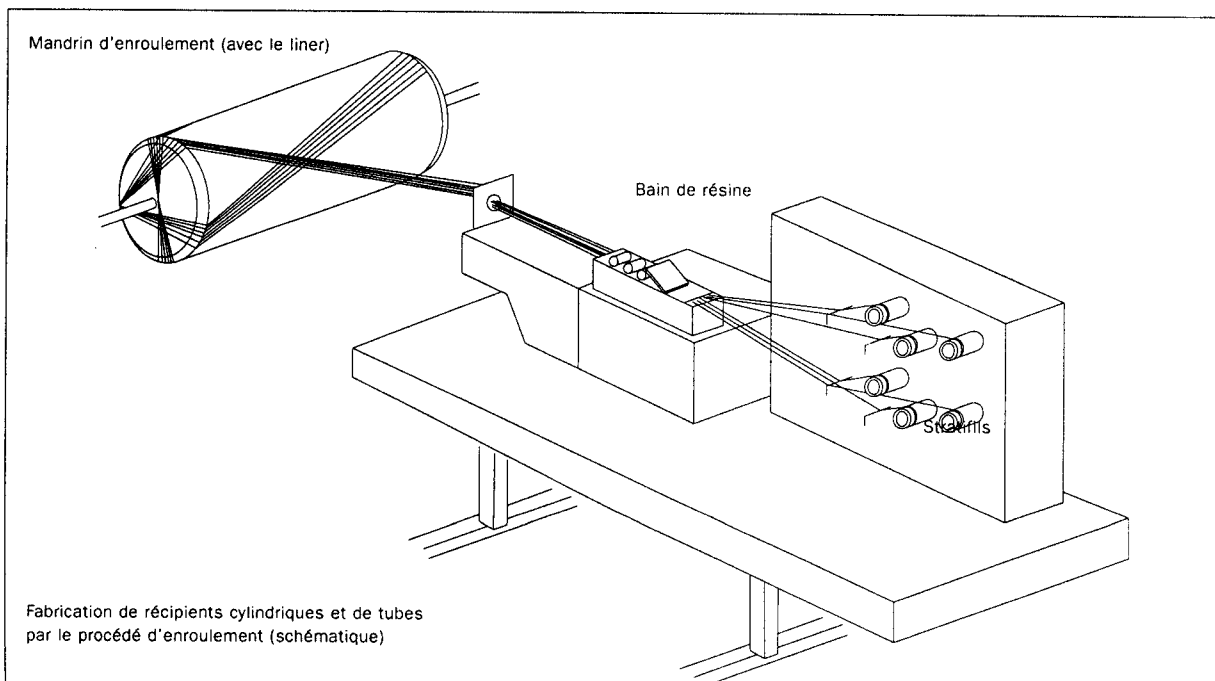


Figure 5

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.

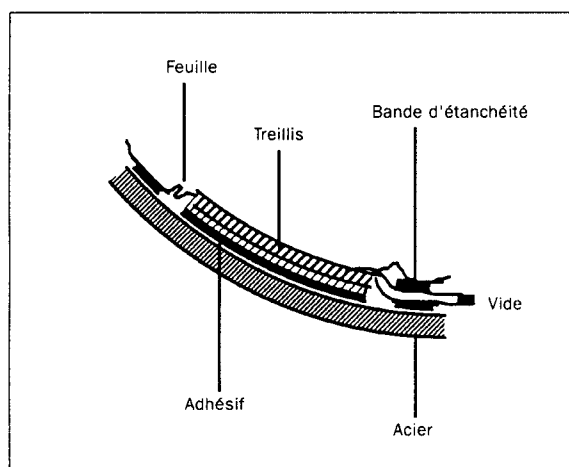


Figure 6

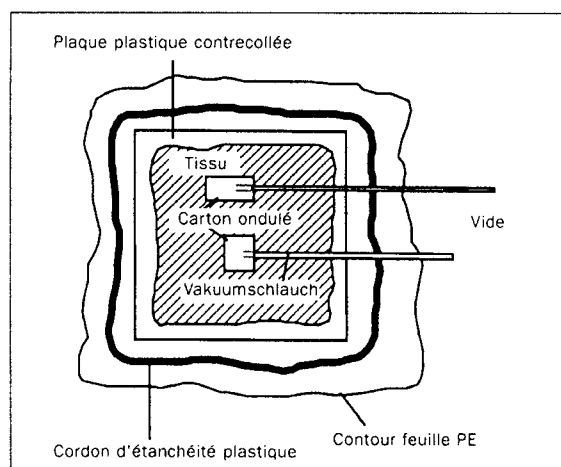


Figure 7

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

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

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

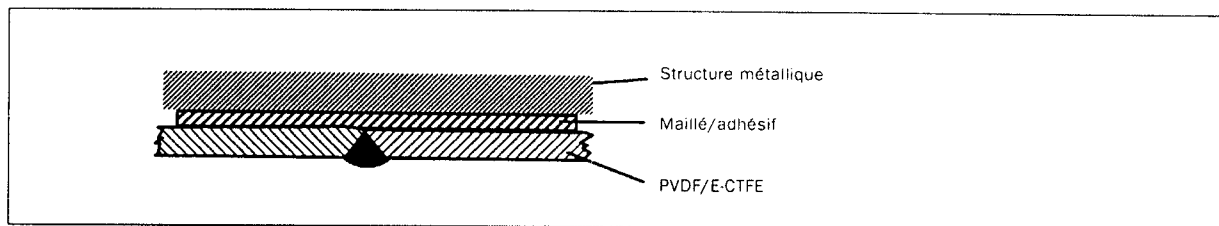


Figure 8

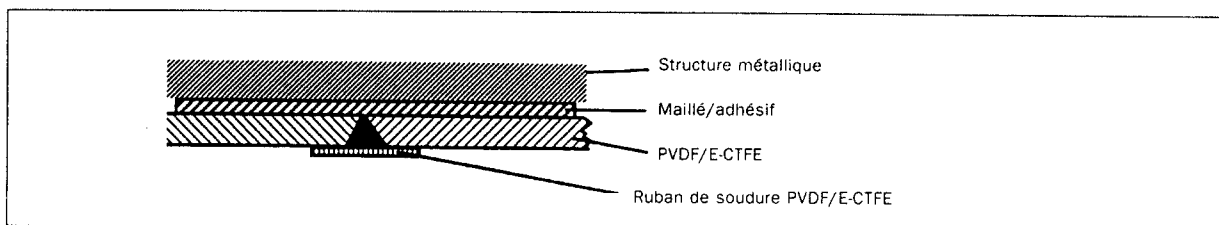


Figure 9

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 1ère 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.

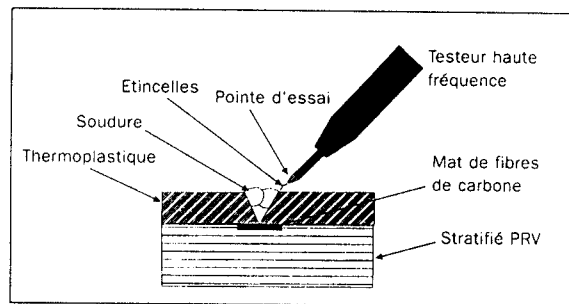


Figure 10

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