



EVERFLON ACADEMIC



— Guide d'extrusion —

EVERFLON

FEP  
PFA

ETFE

Résines fluoropolymères fusibles

---

# Introduction

Les résines fluoropolymères transformables à l'état fondu élargissent la gamme de produits en offrant les propriétés recherchées de l'Everflon™ PTFE dans des produits pouvant être transformés par des techniques thermoplastiques conventionnelles, telles que le moulage par injection et l'extrusion.

Ces résines sont idéales pour les applications où les concepteurs et les utilisateurs finaux exigent un thermoplastique présentant une excellente stabilité chimique, des propriétés diélectriques, des caractéristiques antiadhésives et une résistance mécanique élevée, notamment pour une utilisation dans des environnements à températures extrêmes (hautes et basses).

Cette gamme polyvalente de résines fluoropolymères transformables à l'état fondu est disponible chez Everflon™ pour répondre aux exigences spécifiques des utilisateurs finaux et aux besoins de transformation :

- L'Everflon™ FEP est conçu pour une utilisation jusqu'à 200 °C et conserve la résistance chimique et la rigidité diélectrique des résines fluoropolymères Everflon™ PTFE.
- L'Everflon™ PFA est une résine haute performance offrant de bonnes caractéristiques de transformation à l'état fondu et une stabilité thermique exceptionnelle. Elle offre une résistance et une rigidité élevées à haute température, une excellente résistance à la fissuration sous contrainte, une grande résistance à la flexion et d'excellentes propriétés électriques. Sa température de service maximale est de 260 °C et il résiste à la quasi-totalité des produits chimiques.
- L'Everflon™ ETFE est un matériau robuste et résistant, dont la résistance chimique, les propriétés électriques et la résistance au vieillissement sont comparables à celles des autres résines fluoropolymères Everflon™. Utilisable jusqu'à 150 °C, l'Everflon™ ETFE présente d'excellentes propriétés de mise en œuvre par les techniques thermoplastiques conventionnelles.

Les résines fluoropolymères Everflon™ présentent des points de fusion et des viscosités à l'état fondu supérieurs à ceux de la plupart des thermoplastiques. Elles offrent d'excellents rendements et cadences de production lorsqu'elles sont mises en œuvre selon les techniques décrites dans ce guide.

# Propriétés des fluoropolymères Everflon™ pour l'extrusion

| Property                         | Unit    | ASTM standard | FEP    | PFA               | ETFE   |
|----------------------------------|---------|---------------|--------|-------------------|--------|
| Point de fusion                  | °C      | DSC           | 260    | 310               | 260    |
| Indice de fluidité (MFR)         | g/10min |               | 6-12   | 6-14              | 6-12   |
| Densité relative                 | --      | D792          | 2.15   | 2.15              | 1.7    |
| Résistance à la traction à 23 °C | MPa     | D2116         | 24     | 26                | 45     |
| Allongement à 23 °C              | %       | D2116         | 330    | 350               | 400    |
| Résistance aux chocs (Izod)      | kg-cm   | D256A         |        | No Break          |        |
| Dureté (Doromètre)               | --      | D2240         | D56    | D60               | D70    |
| Module de flexion                | Mpa     | D790          | 550    | 580               | 1200   |
| Résistivité volumique            | Ω-cm    | D257          |        | >10 <sup>17</sup> |        |
| Constante diélectrique           | 1 MHz   | D150          | < 2.1  | < 2.1             | < 2.6  |
| Facteur diélectrique             | 1 MHz   | D150          | 0.0007 | 0.0001            | 0.0007 |
| Rigidité diélectrique            | kV/mm   | D149          | 78     | 78                | 70     |
| Inflammabilité                   | --      | UL94          |        | V-0               |        |
| Indice d'oxygène                 | --      | D2863         |        | >95               |        |
| Résistance chimique              |         |               |        | Excellent         |        |
| Absorption d'eau                 | %       | D570          |        | < 0.03            |        |

## CONCENTRÉS DE COLORANT

Les résines Everflon™ FEP et PFA, ainsi que l'ETFE, peuvent être colorées à l'aide de concentrés de colorant disponibles dans le commerce, proposés par Everflon+™. Les concentrations varient, mais sont généralement si faibles qu'elles n'ont aucun effet notable sur les propriétés mécaniques finales du fluoropolymère. Il est toutefois important que le concentré de colorant soit mélangé à la même résine de base que celle qui sera utilisée lors de la dilution. La plupart des installations d'extrusion continue modernes utilisent un système de dosage de colorant. Si vous utilisez un tel système, suivez les instructions du fabricant. La procédure ci-dessous peut être utilisée si les instructions du fabricant ne sont pas disponibles.

La procédure ci-dessous concerne le mélange à sec, ou « dilution », des granulés de concentré de colorant dans des granulés de résine fluoropolymère Everflon™.

1. Séchez le concentré de colorant pendant quelques heures à 95 °C dans une étuve ventilée ou sous vide. Il n'est pas nécessaire de sécher la résine en vrac. Il est toutefois important de noter que la résine stockée en hiver dans des zones non chauffées peut présenter de la condensation une fois introduite dans la zone d'extrusion chauffée. Laissez-la s'équilibrer avant utilisation.
2. Pesez le concentré selon la proportion nécessaire à la résine à traiter (par exemple, 1 %).
3. Ajoutez le concentré de couleur à la résine en vrac dans un récipient propre et sec.
4. Mélangez ou agitez la résine et le concentré de couleur pendant au moins 15 minutes, ou jusqu'à obtention d'un mélange homogène. Introduisez le mélange dans la trémie de l'extrudeuse. Couvrez le récipient avec un couvercle ou du papier aluminium pendant l'utilisation.
5. Les granulés de concentré de couleur non utilisés doivent être conservés dans des récipients hermétiques. Sinon, séchez-les à nouveau avant toute utilisation.

# ÉQUIPEMENT

## Extrudeuse

Une extrudeuse a pour fonction de transformer des granulés thermoplastiques en résine fondue et de distribuer cette dernière à un débit et une température uniformes.

Les extrudeuses monovis classiques sont utilisées pour la transformation des fluoropolymères. Le rapport longueur/diamètre (L/D) varie de 20/1 à 30/1. Cependant, il a été constaté que les extrudeuses plus longues, avec un rapport L/D de 28/1 ou plus, sont plus performantes. Ces machines plus longues permettent d'obtenir des débits plus stables à des cadences de production élevées.

L'énergie nécessaire à la plastification de la résine provient de la résistance visqueuse induite par l'action mécanique de la vis sans fin et de la chaleur externe transmise par les résistances chauffantes du cylindre. La vis sans fin mélange la résine fondue et, conjointement aux dimensions de la section de dosage, détermine le débit de l'extrudeuse. Le dimensionnement de l'extrudeuse afin d'obtenir le débit souhaité de résine fondue bien mélangée est essentiel au succès du procédé.

Les machines de plus petit diamètre nécessitent une vitesse de rotation de la vis plus élevée pour atteindre le débit des extrudeuses plus grandes et plus lentes. Cependant, une vitesse de rotation raisonnable, de l'ordre de 20 à 50 tr/min, est optimale.

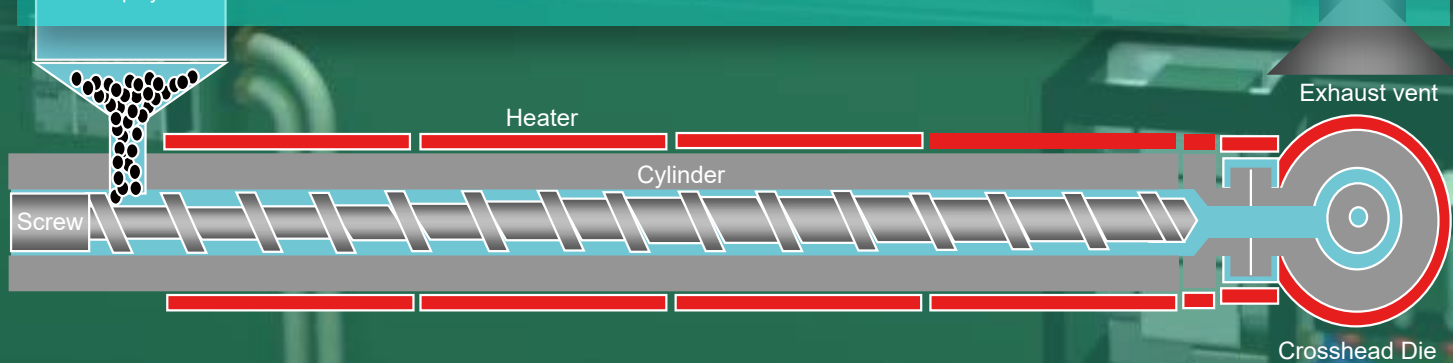
Des problèmes de transformation, tels qu'une perte de résistance à la fusion, ont été observés avec les petites extrudeuses courtes qui doivent fonctionner à haute température et à vitesse de rotation élevée pour obtenir le rendement souhaité. De même, des problèmes ont été constatés avec les grandes machines fonctionnant à basse vitesse. Un mélange insuffisant et un temps de séjour prolongé peuvent entraîner une fusion instable, ce qui nuit aux performances d'étrirage.

## Matériaux de construction

La transformation à l'état fondu des polymères thermoplastiques provoque une certaine dégradation de la résine et la formation de sous-produits. Les sous-produits issus du fluoropolymère fondu sont corrosifs pour la plupart des métaux. La corrosion est accélérée par la décomposition de la résine et peut être minimisée en

évitant les températures de fonctionnement excessivement élevées et en utilisant des canaux d'écoulement de résine optimisés. Les zones de stagnation, les angles morts, etc., piègent la résine où elle peut se dégrader sous l'effet d'une exposition prolongée à des températures élevées.

Il est donc nécessaire d'utiliser des extrudeuses fabriquées à partir d'alliages résistants à la corrosion, à haute teneur en nickel et à faible teneur en fer. Tous les équipements en contact avec le fluide, tels que les chemises de cylindre, les grilles, les plaques de rupture, les adaptateurs, les têtes de coupe et l'outillage, doivent être fabriqués dans ces alliages. Les équipements exposés, comme les pinces, doivent être protégés par un nickelage de haute qualité. Une gamme de ces équipements est disponible dans le commerce, et les fournisseurs peuvent vous conseiller sur leur utilisation appropriée avec les fluoropolymères.



## Conception des vis

La plupart des vis monovis classiques conviennent aux fluoropolymères. Leurs performances varient selon la conception de la vis. Les vis à longs segments d'alimentation, avec un taux de compression d'environ 3:1, des profils de noyau progressifs et des éléments de mélange à faible cisaillement, sont largement utilisées et constituent le choix privilégié. Une expérience limitée indique que les vis à pas variable et les vis à barrière peuvent fonctionner avec les fluoropolymères. Cependant, les opérateurs d'extrudeuses doivent aborder ces conceptions avec prudence.

Dans une vis à pas carré, un tour de spire déplace la vis d'un diamètre de cylindre. Une vis à pas carré avec un angle de pas constant de 17,7 degrés est courante.

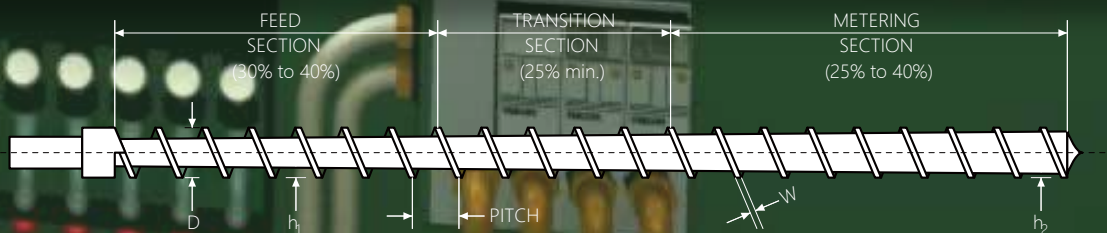
Cela signifie que le rapport L/D correspond au nombre de tours à répartir entre les différents segments de la vis : alimentation, transition, dosage et mélange. Par exemple, une vis à pas carré avec un rapport longueur/diamètre de 28/1 compte 28 tours.

Le transport, la fusion et le mélange des cubes de résine ont lieu dans le segment d'alimentation. Une longue section d'alimentation, d'au moins 8 spires, assure le temps de séjour requis. Il est important d'équilibrer l'énergie apportée par la friction visqueuse induite mécaniquement et par les éléments chauffants du cylindre. Ceci est obtenu grâce à la vitesse de rotation de la vis. La profondeur des spires doit être suffisante pour permettre la compaction des granulés de résine, tout en conservant un diamètre de noyau suffisant pour la résistance mécanique.

La section de transition progressive du noyau relie l'alimentation aux sections de dosage. La transition, ou compression, s'effectue sur 3 à 4 spires. À mesure que la profondeur des spires diminue, la fusion est complète et l'air ou le gaz est refoulé dans le cylindre pour s'évacuer par la gorge d'alimentation. Ceci crée un canal d'alimentation rempli volumétriquement menant à la section de dosage. Ceci est essentiel pour obtenir un débit de fusion constant.

La matière fondue est transportée le long de la section de dosage de la vis par friction sur les surfaces. Le débit est directement proportionnel à la vitesse de rotation de la vis. Une section de dosage de 5 à 7 spires génère généralement une pression suffisante pour acheminer la matière fondue à travers le tamis, la tête et l'outillage. Les profondeurs des spires de la section de dosage sont faibles afin de maximiser le rapport surface/volume. Cela minimise également le reflux de matière fondue dû à l'accumulation de pression. Il est important de comprendre qu'il s'agit d'un processus volumétrique. Le débit est déterminé par les dimensions de la section de dosage et la vitesse de rotation de la vis.

Les machines dotées d'un canal de dosage de grand diamètre et de profondeur importante nécessiteront une vitesse de rotation bien inférieure à celle des machines à petit diamètre et faible profondeur. Lors de la spécification de nouvelles machines ou de nouvelles vis pour des machines existantes, commencez par calculer les dimensions de la section de dosage pour une vitesse de rotation moyenne correspondant au débit requis. À partir de là, en utilisant un taux de compression typique (par exemple, 3:1), les autres dimensions de la vis peuvent être facilement déterminées.





## Séchoir à trémie

Les résines fluoropolymères n'absorbent pas l'eau. Elles absorbent cependant l'humidité de surface, notamment lors du passage de l'entrepôt frigorifique à la salle de transformation chaude. Les concentrés de couleur étant hygroscopiques, le séchage de la résine et du concentré s'avère efficace pour éliminer les défauts liés à l'humidité. Le séchage par lots avant extrusion est efficace, mais peut s'avérer complexe pour le traitement de grandes quantités de résine.

Les fluoropolymères ne nécessitent pas d'air déshumidifié. Un passage unique d'air chaud permet d'éliminer l'humidité de surface. Des températures de 120 à 160 °C, avec un temps de maintien de 1 à 2 heures, sont généralement efficaces. L'évacuation des gaz de la trémie doit être effectuée en toute sécurité. Des unités de chauffage de trémie préfabriquées pour fluoropolymères sont disponibles dans le commerce.

## Plaque de broyage et tamis

Une plaque de broyage et un tamis peuvent être utilisés pour l'extrusion des fluoropolymères. Ils génèrent une contre-pression supplémentaire pour une meilleure dispersion du pigment ou de la charge dans le polymère fondu. Le procédé doit être suffisamment propre pour ne pas nécessiter l'élimination des contaminants ou des agglomérats de couleur par tamisage. Les trous de la plaque de rupture doivent être chanfreinés des deux côtés afin d'éviter l'accumulation de résine et le cisaillement sur un bord tranchant. Une grille de 120 mesh (0,125 mm) prise en sandwich entre deux grilles de 80 mesh (0,177 mm) constitue une configuration typique. Les grilles doivent être fabriquées en alliages fluoropolymères résistants à la corrosion.

## Adaptateur

L'adaptateur reliant la traverse au fourreau de l'extrudeuse doit être profilé intérieurement pour assurer un écoulement optimal de la résine fondue. Les réductions de section coniques doivent être réalisées avec un angle maximal de 30°. Il doit également comporter une bande chauffante avec régulateur de température. Compenser une température d'adaptateur insuffisante par une température de fourreau plus élevée peut entraîner une dégradation et un risque pour la sécurité lors du démarrage. La résine solidifiée à l'intérieur de l'adaptateur restreindra le flux de résine fondue provenant de l'extrudeuse.

## Traverse

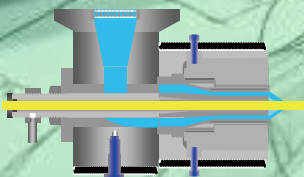
Une traverse d'extrudeuse de conception classique est couramment utilisée. D'autres conceptions sont également disponibles. Les têtes en ligne ou à passage direct sont utilisées pour l'extrusion de profilés continus tels que les tubes. De nombreuses variantes commerciales sont disponibles. Il est important que la tête d'extrusion présente un flux simple et aérodynamique, sans points de stagnation. Ses dimensions dépendent du produit final souhaité. Toutefois, le choix optimal consiste à opter pour le volume minimal et le temps de séjour le plus court possible, tout en répondant aux exigences du produit final. La rupture du polymère fondu, abordée plus loin dans ce document, peut limiter le débit de production.

Cependant, les fluoropolymères Everflon™ possèdent une bonne résistance à l'état fondu, permettant des taux d'étirage élevés afin de minimiser l'effet de la rupture du polymère fondu.

Il est tout aussi important de spécifier la qualité du fluoropolymère et les matériaux de construction résistants à la corrosion. Les fournisseurs utilisent différents alliages, optimisant le compromis entre résistance à la corrosion, facilité d'usinage et aspect après utilisation avec les fluoropolymères.

Les bandes chauffantes doivent avoir une capacité suffisante pour supporter une température maximale de 425 °C en fonctionnement. Des densités de puissance de 4,65 W/cm<sup>2</sup> ou plus peuvent être utilisées.

Des régulateurs de température proportionnels, intégraux et différentiels (PID), ou équivalents, sont indispensables pour une extrusion stable du polymère fondu.





## Bandes chauffantes

Les bandes chauffantes doivent avoir une capacité suffisante pour supporter une température maximale de 425 °C en fonctionnement. Des densités de puissance de 4,65 W/cm<sup>2</sup> ou plus peuvent être utilisées.

Des régulateurs de température proportionnels, intégraux et différentiels (PID), ou équivalents, sont indispensables pour une extrusion à l'état fondu stable.

## Ventilation par aspiration locale

La transformation à l'état fondu de tous les polymères thermoplastiques, y compris les fluoropolymères thermoplastiques, entraîne une dégradation susceptible de libérer des gaz, des vapeurs ou des fumées potentiellement nocifs pour la santé ou simplement générant des odeurs désagréables. Le moyen le plus efficace de contrôler ces émissions est de les capter à la source et de les éliminer par ventilation par aspiration avant qu'elles ne se dispersent dans l'atmosphère du lieu de travail.

La ventilation par aspiration locale est efficace car un volume d'air relativement faible suffit pour capter et éliminer les substances chimiques en suspension dans l'air libérées par le plastique, contrairement aux volumes très importants nécessaires pour renouveler l'air d'un espace de travail ou d'une usine entière. De plus, la « capture » des contaminants à la source peut pratiquement éliminer l'exposition des travailleurs aux produits chimiques.

# FONCTIONNEMENT DE L'EXTRUDER

Une opération d'extrusion réussie exige une attention particulière à de nombreux détails, tels que : la qualité et le débit du matériau d'alimentation, un démarrage et un arrêt qui ne dégradent pas le polymère et ne mettent pas en danger l'équipement et l'opérateur, un profil de température de l'extrudeuse permettant d'atteindre et de contrôler le processus à la température de fusion souhaitée au débit de production requis, un système de ventilation locale adéquat et la manipulation de la résine.

## Manipulation de la résine

Il convient de veiller à éviter la condensation à la surface de la résine. L'humidité peut être absorbée par certains additifs utilisés, tels que les pigments ou les concentrés de nucléation. Laissez la résine s'acclimater à température ambiante pendant 24 heures maximum avant utilisation.

Il est fortement recommandé de maintenir la résine propre et exempte de toute contamination. Les sacs et autres contenants de résine doivent être fermés hermétiquement avant utilisation. Évitez toute contamination en utilisant des trémies et des bacs de stockage couverts. Les contaminants entraînent souvent des défauts dans le produit extrudé, tels que des étincelles dans l'isolation des fils.

## Fluidité à l'état fondu

Les résines fluoropolymères sont considérablement plus visqueuses à leurs températures de transformation recommandées que la plupart des autres résines thermoplastiques. La viscosité à l'état fondu et l'indice de fluidité à l'état fondu (MFR), soit la quantité de polymère fondu (en grammes) traversant un orifice donné sous pression et température constantes pendant 10 minutes, sont des termes utilisés pour décrire la fluidité du polymère fondu. Ces propriétés sont mesurées dans des conditions standardisées de cisaillement et de température.



## Rupture de la matière fondue

Lorsqu'une résine thermoplastique s'écoule à travers une filière ou un orifice de profilage, la surface de la matière fondue est lisse. À mesure que le débit augmente, la matière atteint un seuil où une rugosité de surface apparaît. Cette rugosité, appelée « rupture de la matière fondue », est due au frottement entre la matière fondue et les parois de l'outillage. À faible débit, ce frottement ralentit l'écoulement au niveau de la paroi. À débit élevé, il tend à l'arrêter, mais la pression du procédé, en poussant la matière fondue vers l'avant, compense cette résistance. Il en résulte un écoulement irrégulier ou « turbulent en surface » à l'origine de la rugosité. L'extrusion à un débit trop élevé par rapport à la viscosité du polymère fondu, aux dimensions de l'outillage et à la température de l'installation est la cause la plus fréquente de rupture du polymère fondu.

La rupture du polymère fondu se produit à des débits supérieurs au « taux de cisaillement critique » du polymère. Ce taux dépend de la température ; il est donc souvent possible d'augmenter légèrement le rendement en augmentant la température du polymère fondu. Cependant, cette température doit toujours rester inférieure à celle qui provoque la dégradation du polymère.

Lorsque des pigments ou des agents de nucléation sont utilisés, le cône est opaque ; la rupture du polymère fondu n'est alors visible qu'en surface. Il est important de réaliser l'extrusion dans des conditions qui ne provoquent pas de rupture du polymère fondu.

Des essais avec une résine non pigmentée peuvent être utiles pour déterminer ces conditions initiales. L'examen du produit extrudé, à l'intérieur comme à l'extérieur, permet également de mettre en évidence la présence de rupture du polymère fondu.

Une rugosité due à l'humidité, à des contaminants ou à des charges peut être confondue avec une rupture du polymère fondu. Une brève réduction du débit permettra de réduire, voire d'éliminer, la rupture du polymère fondu, si elle est à l'origine de la rugosité de surface. À l'inverse, si la rugosité persiste, même à de faibles débits de production, des corrections appropriées doivent être apportées en fonction de la présence d'humidité ou de contamination.

Temp.°C

360~380

380



Extrusion typique d'un tube en cours de réduction dans un calibre sous vide. Le tube est brillant, lisse et transparent. Aucune fissure de fusion n'est visible.



Même extrusion à un débit plus élevé : une fissure de fusion est clairement visible au niveau du cône.

## Contraintes et vitesses de cisaillement

La figure représente une carte des conditions d'écoulement possibles pour les résines fluoropolymères Everflon™ FEP et PFA, à température de fusion et de filière constantes. Les fluoropolymères Everflon™ ETFE ne présentent pas cette répartition. La carte illustre la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse de cisaillement et montre comment la contrainte augmente avec cette dernière.

La carte définit quatre zones de comportement possibles lors de l'extrusion. À très faible cadence d'extrusion, une dégradation thermique de la résine peut se produire.

La zone I correspond à la large plage de fonctionnement normal où se déroule la quasi-totalité de l'extrusion.

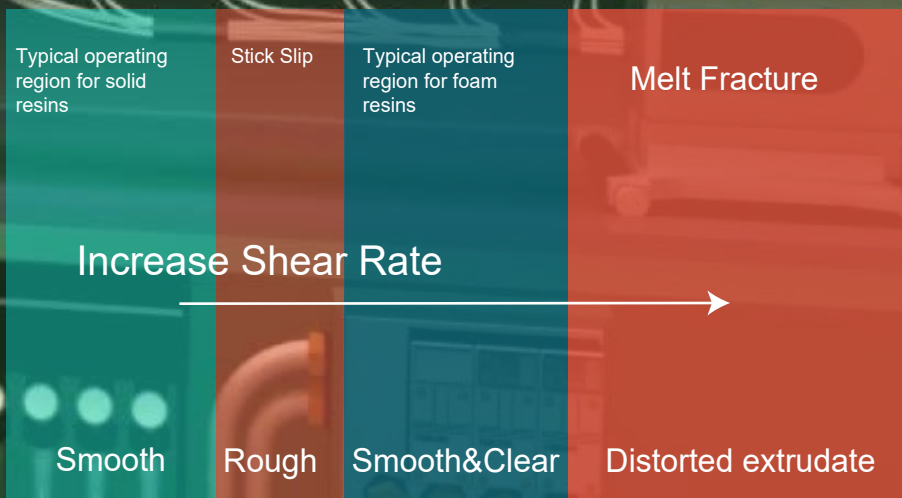
La zone II représente la transition d'un extrudat lisse à un extrudat rugueux, « fracturé par fusion », par augmentation du débit de résine à travers l'outillage. Durant cette transition, le polymère fondu atteint sa « vitesse de cisaillement critique ». Cette vitesse de cisaillement critique est spécifique aux conditions d'extrusion.

Un extrudat lisse est à nouveau obtenu dans la zone III, généralement appelée zone de « super-cisaillement ». Le cisaillement extrême se produit lorsque le polymère fondu perd son adhérence à la surface de l'outillage. Ce phénomène s'accompagne d'une chute significative de la pression à la tête d'extrusion, réduisant ainsi l'obstacle à l'écoulement du polymère fondu. Des cadences de production plus élevées peuvent être atteintes de cette manière, mais cela entraîne généralement une modification des propriétés mécaniques mesurées du produit obtenu.

Dans la zone IV, l'extrudat redevient excessivement rugueux.

Pour une géométrie d'outillage donnée, la vitesse de cisaillement augmente proportionnellement au débit de polymère fondu. La contrainte de cisaillement augmente avec la pression.

Comme pour de nombreux polymères thermoplastiques non fluoropolymères, la contrainte de cisaillement des résines fluoropolymères Everflon™ ETFE augmente de façon quasi directe avec la vitesse de cisaillement. Selon leur masse moléculaire et la température de transformation, ces résines Everflon™ peuvent commencer à se fracturer à des vitesses de cisaillement aussi faibles que 10 à 100 secondes réciproques. L'Everflon™ FEP 4622, d'indice de fluidité (MFR) 22 et extrudé à une température de fusion de 400 °C, se rompt à la fusion après environ 500 secondes réciproques. De même, différentes qualités de fluoropolymères Everflon™ ETFE se rompent à la fusion entre 200 et 3 000 secondes réciproques.



Extrudate Appearance in Flow Regions I, II, III, IV



## Rupture par extension

Lorsque le polymère fondu est poussé à travers l'outillage, il est soumis à un cisaillement qui provoque une rupture lorsque le taux de cisaillement critique est dépassé. Le polymère fondu est immédiatement étiré dans le cône à sa sortie de l'outillage. Cet étirage induit un cisaillement supplémentaire.

Lorsque la limite de cisaillement est dépassée, le cône apparaît opaque (en l'absence de pigment) et des piqûres et/ou des déchirures apparaissent dans le flux de polymère fondu. Dans des conditions extrêmes, le cône se rompt.

La vitesse d'étirage est également importante. Un étirage trop rapide provoque également des piqûres, des déchirures et la rupture du cône.

La quantité totale de cisaillement qu'un polymère peut supporter lors de ce procédé est appelée son « budget de cisaillement ». Ce budget est partiellement consommé par chacune des trois étapes du procédé qui influent sur le cisaillement : le cisaillement dû à l'outillage, le cisaillement par extension et la vitesse de ce dernier. Lorsque l'une de ces étapes, ou leur combinaison, dépasse la capacité du polymère fondu à résister au cisaillement, le procédé se déstabilise. Il est toutefois possible de répartir le travail effectué sur le polymère fondu entre l'outillage et le cisaillement d'extension. L'ajout d'un cisaillement d'extension et de sa vitesse réduit efficacement le « taux de cisaillement critique du procédé ».

L'Everflon™ FEP 4622, à un indice de fluidité (MFR) de 22, extrudé à l'état fondu à 400 °C, présentera une rupture du polymère fondu lors de son évacuation de l'outillage (cisaillement d'outillage uniquement) après environ 550 secondes réciproques. Lors de l'étirage sur fil (cisaillement d'outillage, d'extension et vitesse d'extension appliqués), le procédé est limité à un débit équivalent à 350 secondes réciproques. Ceci explique pourquoi les transformateurs de fluoropolymères atteignent rarement le débit d'extrusion potentiel décrit par le taux de cisaillement critique du polymère.

## Taux d'étirage

Le taux d'étirage (TE) est défini comme le rapport entre la section transversale de l'espace entre les outils et la section transversale du profil fini. L'isolation ou le gainage des fils et câbles est généralement obtenu par extrusion de tubes étirés. Le profilage tubulaire est le procédé d'extrusion de fluoropolymères le plus courant, et la fabrication de tubes et de tuyaux est un procédé d'étirage. Dans ce type de profilage, une pointe circulaire (ou mandrin) est placée à l'intérieur d'une filière circulaire pour former un espace annulaire de centre commun. La section transversale est donc égale à la surface décrite par la circonférence de la filière moins la surface décrite par la circonférence de la pointe. De même, la section transversale du profil du produit (tube ou isolation tubulaire du fil) est égale à la surface décrite par la circonférence extérieure moins celle décrite par la circonférence intérieure. Ces quatre surfaces peuvent être facilement calculées à partir de formules géométriques simples. Cependant, comme les termes courants s'annulent, le taux d'étirage peut être calculé très facilement en utilisant le carré du diamètre.

L'augmentation du taux d'étirage réduit le cisaillement dans l'outillage. La rupture du polymère fondu ne se produira qu'à partir d'un débit plus élevé. Ceci permet d'augmenter potentiellement la vitesse de la ligne de production. Un taux d'étirage plus élevé réduit également le risque de bavures à l'extrémité du fil. Dans certaines expériences limitées, un taux d'étirage plus élevé a permis d'obtenir de meilleures performances électriques grâce à une meilleure adhérence du polymère sur le fil.

Un taux d'étirage plus faible augmente le cisaillement dans l'outillage, ce qui entraîne une rupture plus précoce du polymère fondu. Cependant, un taux d'étirage plus faible permet d'obtenir un cône d'étirage plus stable. Cela réduit le risque de rupture du cône et améliore la régularité du contrôle du diamètre.

Le rythme de production pratique représente un compromis acceptable entre la vitesse de la ligne et la qualité du produit final requise. Les fils de petit diamètre sont généralement produits plus rapidement que les fils de grand diamètre, et la fabrication de tubes, où le contrôle du diamètre et la concentricité de l'épaisseur de paroi sont essentiels, est toujours réalisée avec un taux d'étirage faible et à des vitesses de ligne lentes.



## Équilibre du rapport d'étirage

L'équilibre du rapport d'étirage (ERE) est défini comme le rapport entre la vitesse de descente de la paroi extérieure du cône d'étirage et la vitesse de descente de la paroi intérieure. Un équilibre parfait est égal à 1,00.

Un ERE incorrect est la cause la plus fréquente de problèmes d'outillage lors de l'extrusion à l'état fondu du fluoropolymère Everflon™. Lorsque l'ERE est nettement supérieur à 1,0, des déchirures se produisent en raison de l'excès de polymère à l'extérieur du profil. Lorsque l'ERE est nettement inférieur à 1,0, l'excès de polymère à l'intérieur du profil provoque un repliement. Par conséquent, un dimensionnement correct de l'outillage est essentiel pour une extrusion réussie.

## Contrôle de la longueur du cône

Lors du revêtement de fils, la longueur du cône est réduite et contrôlée par l'application d'un vide à l'intérieur du cône via un orifice percé dans le tube noyau de la tête transversale.

Cet orifice est celui par lequel passe le fil conducteur. Le vide peut être facilement obtenu à l'aide d'une pompe à vide et contrôlé par un robinet à pointeau.

Réduire la longueur du cône diminue le temps d'étirage du polymère fondu. Cela augmente la vitesse d'étirage, ce qui entraîne des trous, des déchirures et des cassures du cône à mesure que celui-ci se raccourcit. Une longueur de cône importante provoque une oscillation ou un flottement visible du cône, ce qui engendre des fluctuations de diamètre dans le produit final. Le vide est généralement réglable par l'opérateur afin d'obtenir un processus stable, compensant ainsi les défauts liés à une longueur de cône trop importante ou trop courte.

Lors de la fabrication de tubes, la longueur du cône est déterminée par la distance entre la face de l'outillage et la filière de calibrage dans le réservoir à vide. Ce dernier est généralement réglable.

Le vide est parfois appliqué à l'intérieur du cône pour faciliter l'étirage. Dans d'autres cas, lorsque le taux d'étirage est faible ou lorsque le cône est étiré pour obtenir un diamètre plus important, de l'air est insufflé à l'intérieur du cône pour faciliter le remplissage complet de la filière de calibrage.

## Température de fusion

L'influence de la température de fusion sur la viscosité du polymère et ses caractéristiques d'étirage est un facteur important dans l'extrusion à l'état fondu des FEP, PFA et ETFE Everflon™.

L'opérateur doit choisir la température de fusion à laquelle exécuter le processus. Des expériences structurées ont démontré que la température de fusion et le taux d'étirage sont les deux facteurs de paramétrage les plus influents sur le rendement et la qualité.

Le fluoropolymère doit être complètement fondu juste avant son entrée dans la section de dosage. Un remplissage insuffisant de cette section peut entraîner un rendement variable.

L'utilisation d'une sonde de température de fusion en contact avec le procédé est essentielle. La température de fusion varie considérablement en fonction du débit, mais le profil thermique doit rester constant.

## Préchauffage du fil

Le contrôle du processus de revêtement du fil et les performances ultérieures du câble sont fortement influencés par la température du conducteur lors de l'application du polymère fondu. Un conducteur froid absorbe également la chaleur de son extrémité, augmentant ainsi le risque de rupture du polymère fondu à l'intérieur du cône.

Il est donc recommandé de préchauffer le fil. Ceci est généralement réalisé à l'aide d'un préchauffeur inductif en ligne.

Cependant, l'expérience a montré qu'il existe une plage de fonctionnement optimale autour de 150 °C. L'adhérence du polymère au conducteur peut être ajustée dans une certaine mesure par le contrôle du vide et du préchauffage.

## Distance de trempé

Les profilés tubulaires sont refroidis dans le bain sous vide, généralement par circulation d'eau à température contrôlée. Le revêtement du fil est refroidi à l'air puis par trempé dans l'eau. Les polymères Everflon™ FEP, PFA et ETFE se rétractent lors de leur refroidissement.

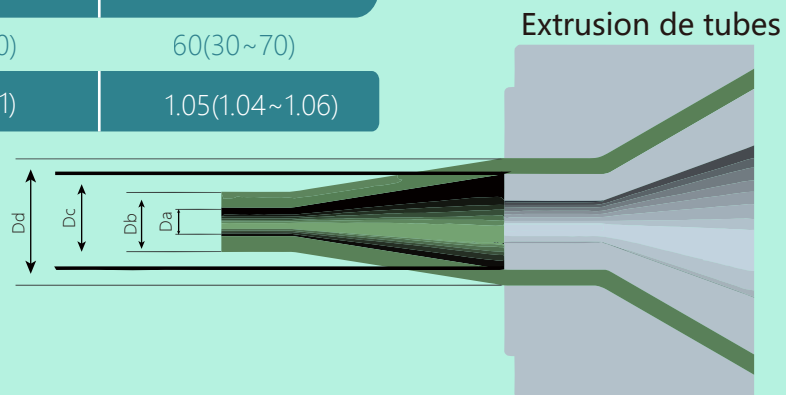
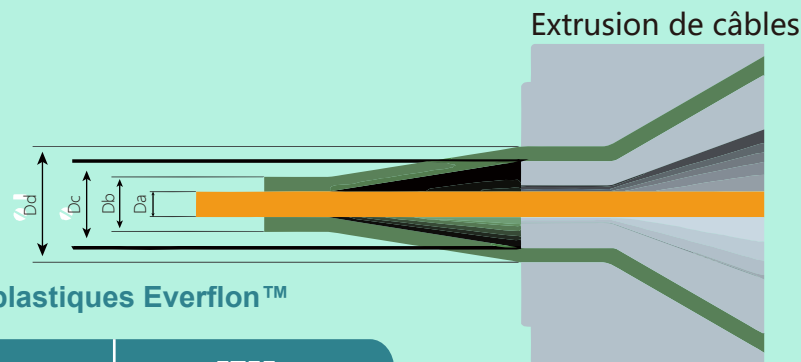
Comme la plupart des polymères, les polymères Everflon™ FEP, PFA et ETFE sont de bons isolants. Si la surface extérieure du revêtement d'un fil est refroidie pour solidifier le polymère, la surface intérieure se rétracte, dissipant sa chaleur plus lentement. Les vides ainsi créés le long du conducteur affectent les performances du câble. Pour éviter ce refroidissement irrégulier, il est préférable de laisser le fil revêtu refroidir à l'air libre le plus longtemps possible avant la trempé à l'eau. À mesure que la vitesse de production augmente, l'entrefer devient moins efficace dans la plupart des procédés. L'effet de la trempé à l'eau est parfois contrôlé par un court passage d'eau chaude avant l'entrefer. Dans les configurations où l'espace est limité et où un entrefer important est impossible, il est nécessaire de procéder à des essais pour déterminer le système de refroidissement le plus efficace afin d'éviter la formation de vides le long du conducteur.

$$DDR = (D^2d - D^2c) / (D^2b - D^2a)$$

$$DRB = (D^2d - D^2b) / (D^2c - D^2a)$$

### Valeurs DDR et DRB recommandées pour les fluoroplastiques Everflon™

| Materials | FEP           | PFA           | ETFE            |
|-----------|---------------|---------------|-----------------|
| DDR       | 100(90~110)   | 100(90~110)   | 60(30~70)       |
| DRB       | 1.05(0.9~1.1) | 1.05(0.9~1.1) | 1.05(1.04~1.06) |



# MISE EN SERVICE

## Avant la mise en service :

1. Sauf si la même résine est déjà présente dans la machine suite à une production précédente, l'extrudeuse doit être entièrement nettoyée, y compris la trémie d'alimentation, le cylindre, la vis, la plaque de rupture, la traverse, la filière et la buse. Si des filtres sont utilisés, remplacez-les lors du nettoyage.  
Remarque : Assurez-vous que des alliages fluoropolymères résistants à la corrosion ont été utilisés pour toutes ces pièces.
2. Vérifiez l'état et la compatibilité de tous les éléments chauffants et des connexions électriques.
3. Vérifiez que les thermocouples sont correctement positionnés et que leurs connexions sont bien serrées.
4. Inspectez les transducteurs de pression et assurez-vous que les dispositifs de sécurité haute pression sont activés.
5. Assurez-vous que le passage du métal en fusion à travers la tête n'est pas obstrué.
6. Assurez-vous que le système de ventilation par aspiration locale (LEV) dispose d'un débit d'air suffisant.
7. Prévoyez un bac de trempe partiellement rempli d'eau propre pour récupérer l'extrudat de purge.

## Procédures de démarrage

1. Réglez tous les régulateurs de température à 177 °C et laissez la température s'équilibrer.
2. Assurez-vous que toutes les températures augmentent à un rythme normal. Recherchez les écarts pouvant indiquer une surchauffe ou un emballement des éléments chauffants. Un enregistreur graphique est un outil utile pour surveiller les régulateurs de température et le cycle de chauffe.
3. Réglez tous les régulateurs de température à 288 °C et laissez la température s'équilibrer.
4. Vérifiez que toutes les températures sont montées normalement.
5. Réglez chaque température selon le profil souhaité et laissez-les s'équilibrer. Remarque : ce profil est optimisé en fonction de la vitesse de fonctionnement pour obtenir la température de fusion souhaitée. Ne l'utilisez pas comme référence. Pour un profil donné, la température de fusion varie selon le débit (tr/min).
6. Après avoir atteint la température de consigne, laissez le système maintenir une température de maintien d'au moins 15 minutes. Ceci permet de garantir la fusion complète du polymère et de minimiser ainsi les risques de surpression lors de la rotation de la vis.
7. Ne vous tenez pas devant l'extrudeuse pendant le démarrage de la vis. Ne regardez jamais directement dans la trémie d'alimentation en raison des risques de refoulement.
8. Démarrez la vis et réglez-la à environ 10 tr/min. Purgez pendant environ 10 minutes. Surveillez les pics de pression ou d'intensité et arrêtez la machine le cas échéant.
9. Augmentez la vitesse de rotation à environ 25 tr/min et centrez la filière autour de l'embout. Remarque : Cette étape n'est pas nécessaire avec les têtes autocentrantes.
10. Lancez la production et ajustez le profil de température pour obtenir la température de fusion souhaitée au rythme de production prévu.



## Procédures d'arrêt

La procédure d'arrêt varie légèrement selon que la machine doit être arrêtée et remise en marche pour une nouvelle production ou simplement immobilisée temporairement avant de reprendre la production.

L'objectif est d'éviter la dégradation du polymère, qui contaminerait la production suivante, en minimisant l'exposition de la résine aux hautes températures. Cependant, une machine dédiée à une production prolongée avec la même résine doit être démontée et nettoyée périodiquement.

Si la même qualité de résine est utilisée lors d'une opération ultérieure et que l'exposition de la résine à la température dans l'équipement est contrôlée au minimum, le nettoyage n'est généralement pas nécessaire. Un changement de qualité de résine nécessite un démontage et un nettoyage complet. Ne soyez pas tenté de « gagner du temps » en purgeant une qualité avec une autre. Le démontage et le nettoyage sont plus efficaces lorsque l'équipement est encore à température élevée.

## Arrêt sans nettoyage de l'extrudeuse

Suivez ces étapes pour un arrêt correct :

1. Videz la trémie d'alimentation par sa goulotte d'évacuation et aspirez les granulés de résine restants.
2. Si vous enrobez un fil, coupez-le et retirez-le de la traverse. Si vous fabriquez un tube, déconnectez le flux de matière fondue de la filière de calibrage.
3. Abaissez tous les réglages de température au point de fusion de la dernière résine traitée.
4. Réduisez la vitesse de rotation de la vis à un régime modérément bas (10 à 20 tr/min) et laissez la matière fondue s'écouler dans un seau d'eau de trempe ou un autre récipient conçu pour éliminer ou récupérer les vapeurs dégagées par la matière fondue.
5. En cas de chute significative de la pression dans le cylindre ou si l'extrudeuse est complètement purgée, abaissez les réglages de température à 177 °C et arrêtez la vis.

Remarque : Les étapes 4 et 5 doivent être effectuées avant que la température ne chute significativement.

6. Si une plaque de rupture et des filtres sont utilisés, déconnectez la tête et retirez-les pour les nettoyer.

## Arrêt et nettoyage de l'extrudeuse

Procédez comme suit pour un arrêt correct :

1. Videz la trémie d'alimentation comme indiqué ci-dessus.
2. Si vous enrobez un fil, arrêtez-le et retirez-le de la traverse. Si vous fabriquez un tube, déconnectez le fil fondu de la filière de calibrage.
3. Abaissez toutes les températures : pour l'Everflon™ FEP et le PFA, réglez-la à environ 288 °C. Pour l'Everflon™ ETFE, réglez-la à environ 177 °C. Réduisez la vitesse de la vis à un régime modérément bas (10 à 20 tr/min) et laissez le fil fondu s'écouler dans un bain de trempe.
4. Lorsque l'extrudeuse semble vide, arrêtez la vis.
5. Coupez l'alimentation et débranchez les résistances de la tête d'extrusion.
6. Démontez la tête et nettoyez-la sous une hotte aspirante tant qu'elle est encore chaude. Retirez l'outillage et le tube noyau, puis nettoyez-les avec des spatules et des brosses en cuivre ou en laiton. Retirez toutes les résistances et les thermocouples. Les petites pièces peuvent être brûlées dans un four à moufle adapté. N'utilisez pas de chalumeau à propane pour les brûler, car un chauffage inégal pourrait déformer la pièce.
7. Retirez la vis progressivement tout en la nettoyant avec une brosse métallique et de la laine de cuivre. N'utilisez jamais de chalumeau à propane pour « brûler » la résine. L'alliage pourrait se déformer ou se détériorer. Répétez l'opération jusqu'à ce que la vis soit entièrement retirée et nettoyée.

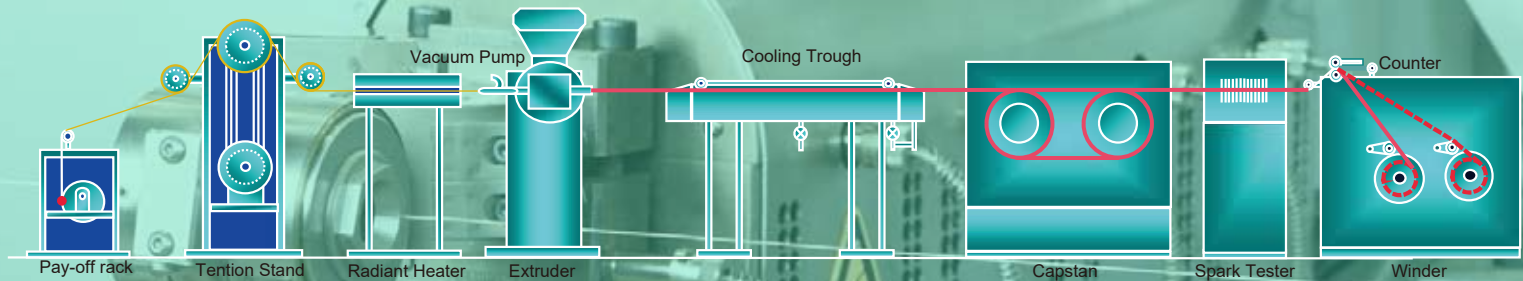
8. Nettoyez le cylindre avec de la laine de cuivre, puis polissez-le avec un chiffon de coton enroulé autour de la tête de la brosse d'alésage.

9. Coupez les éléments chauffants et l'alimentation électrique du procédé.

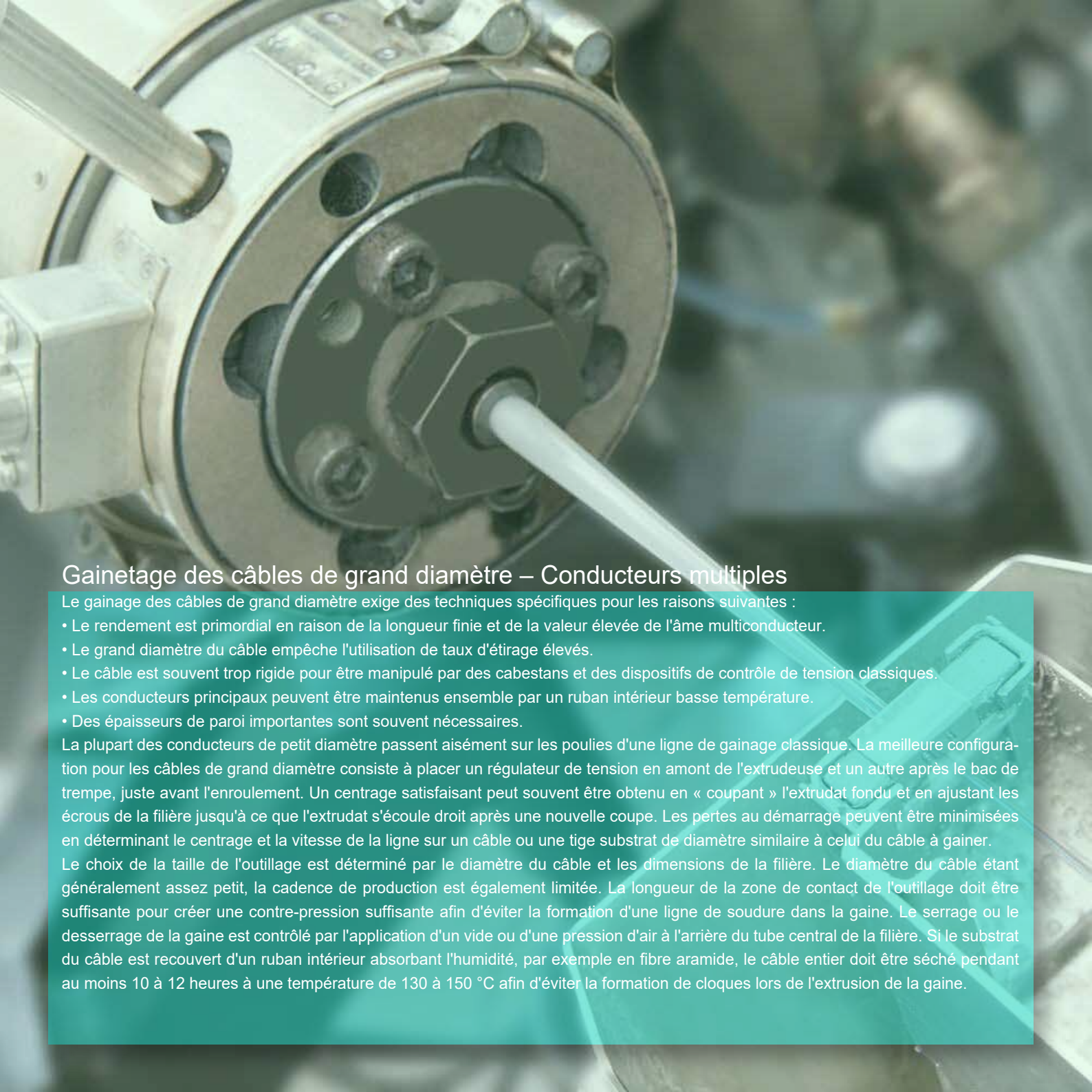
Comme indiqué précédemment, un four à moufle ventilé réglé à 540 °C peut être utilisé pour nettoyer les petites pièces.

# Revêtement de fils

Une ligne de revêtement de fils typique est illustrée à la figure 13. Cette ligne doit permettre un déroulement du fil sous tension uniforme à la cadence de production souhaitée, sans variation ni dérive. Le dévidoir, le régulateur de tension, le préchauffeur et l'enrouleur sont généralement conçus pour une gamme de diamètres de fil. Les longs cycles d'isolation continue sont facilités par des dévidoirs « à la volée », conçus pour libérer le fil comme une ligne de pêche sur un moulinet. De nombreuses installations récentes intègrent une machine à tréfiler en ligne. Cette solution est particulièrement adaptée à l'isolation de très longues longueurs de fil de même diamètre. Les câbles de grande taille et plus rigides nécessitent généralement un équipement spécial pour les grands rayons de courbure.







## Gainage des câbles de grand diamètre – Conducteurs multiples

Le gainage des câbles de grand diamètre exige des techniques spécifiques pour les raisons suivantes :

- Le rendement est primordial en raison de la longueur finie et de la valeur élevée de l'âme multiconducteur.
- Le grand diamètre du câble empêche l'utilisation de taux d'étirage élevés.
- Le câble est souvent trop rigide pour être manipulé par des cabestans et des dispositifs de contrôle de tension classiques.
- Les conducteurs principaux peuvent être maintenus ensemble par un ruban intérieur basse température.
- Des épaisseurs de paroi importantes sont souvent nécessaires.

La plupart des conducteurs de petit diamètre passent aisément sur les poulies d'une ligne de gainage classique. La meilleure configuration pour les câbles de grand diamètre consiste à placer un régulateur de tension en amont de l'extrudeuse et un autre après le bac de trempage, juste avant l'enroulement. Un centrage satisfaisant peut souvent être obtenu en « coupant » l'extrudat fondu et en ajustant les écrous de la filière jusqu'à ce que l'extrudat s'écoule droit après une nouvelle coupe. Les pertes au démarrage peuvent être minimisées en déterminant le centrage et la vitesse de la ligne sur un câble ou une tige substrat de diamètre similaire à celui du câble à gainer.

Le choix de la taille de l'outillage est déterminé par le diamètre du câble et les dimensions de la filière. Le diamètre du câble étant généralement assez petit, la cadence de production est également limitée. La longueur de la zone de contact de l'outillage doit être suffisante pour créer une contre-pression suffisante afin d'éviter la formation d'une ligne de soudure dans la gaine. Le serrage ou le desserrage de la gaine est contrôlé par l'application d'un vide ou d'une pression d'air à l'arrière du tube central de la filière. Si le substrat du câble est recouvert d'un ruban intérieur absorbant l'humidité, par exemple en fibre aramide, le câble entier doit être séché pendant au moins 10 à 12 heures à une température de 130 à 150 °C afin d'éviter la formation de cloques lors de l'extrusion de la gaine.

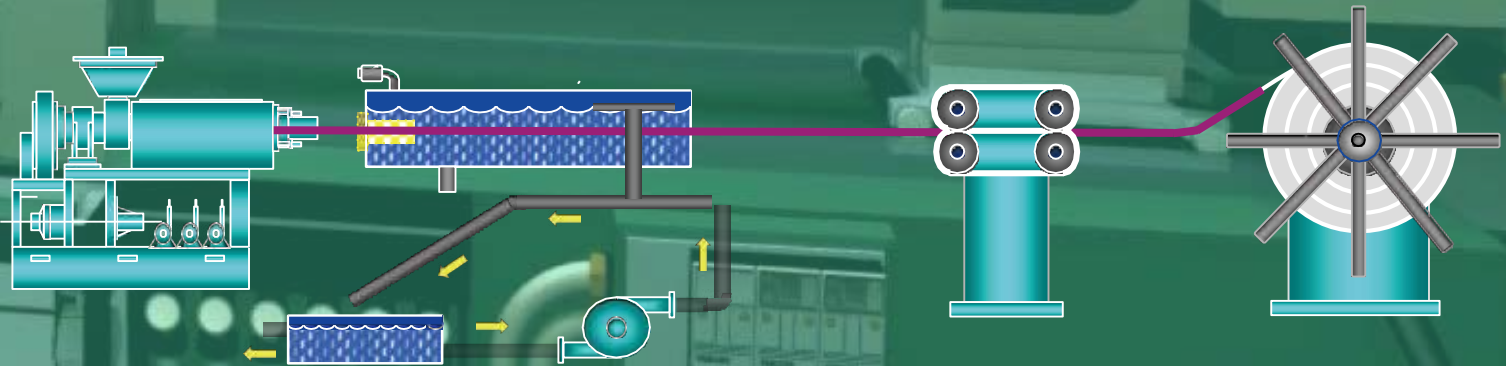


# Tuyaux et tubes

Le procédé d'extrusion de tubes est similaire à celui du revêtement de fils. Cependant, les techniques détaillées diffèrent et dépendent de la taille et du type de tube fabriqué. Des filières à traverse peuvent être utilisées, mais les filières en ligne sont plus courantes. Les tubes et tuyaux peuvent être extrudés à partir de fluoroplastiques Everflon™. Ces extrusions sont généralement utilisées pour le transport de produits chimiques corrosifs et, dans une moindre mesure, comme revêtements.

L'extrusion de tubes est très similaire au procédé d'isolation des fils. Les détails de traitement dépendent de la taille et du type de tube. Les tubes peuvent être fabriqués à l'aide de filières en ligne ou à traverse. Les tubes en FEP Everflon™ peuvent être produits avec des diamètres extérieurs allant de 1 mm à plus de 20 mm.

Cette gamme est divisée en trois zones de traitement en fonction du diamètre extérieur : petit, moyen et grand. La filière de calibrage détermine le diamètre extérieur de la pièce extrudée et la vitesse de la ligne détermine le diamètre intérieur. La vitesse d'enroulement, l'écartement de la filière et la différence entre le diamètre intérieur de la filière et le diamètre extérieur de l'extrémité déterminent l'épaisseur de paroi.



## Petits tubes (tubes spaghetti)

Les petits tubes (diamètre extérieur  $< 5$  mm et épaisseur de paroi  $< 1$  mm) sont généralement produits par extrusion libre. Ce procédé est similaire au revêtement de fil, mais sans fil. La taille et l'épaisseur de paroi dépendent des dimensions de l'outillage et de l'équilibre entre le débit de l'extrudeuse et la capacité d'enroulement du tube. Le choix de l'outillage peut être similaire à celui utilisé pour le revêtement de fil, mais le taux d'étirage est beaucoup plus faible. Un taux d'étirage de 7:1 à 10:1 est courant.

Une filière de calibrage placée à l'entrée du bain de trempe permet de contrôler le diamètre extérieur. Il est parfois utile d'appliquer une légère pression d'air à l'intérieur de la table pour s'assurer que la matrice de calibrage est bien remplie.

## Tubes de diamètre moyen

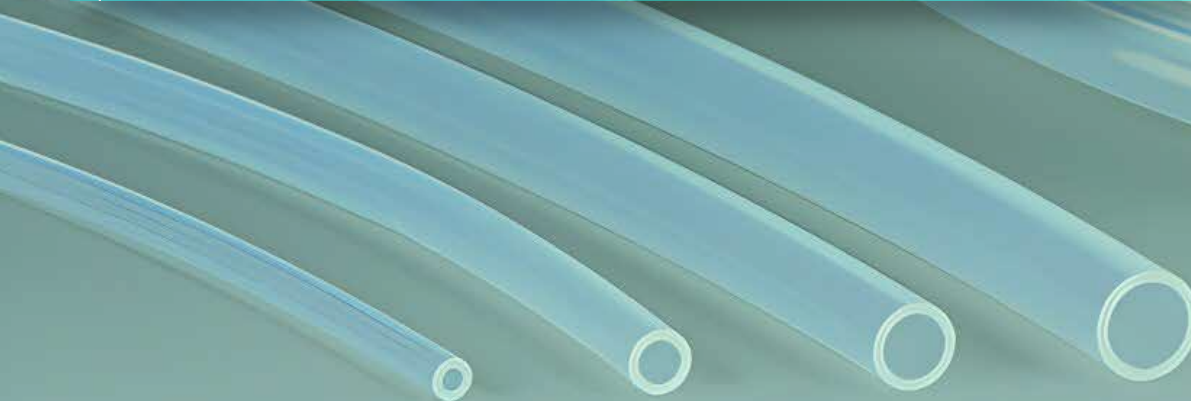
Les tubes de 10 mm de diamètre ou plus sont souvent fabriqués par calibrage sous vide.

Ce procédé ne nécessite aucune pression supplémentaire à l'intérieur du tube pour remplir la matrice, car le vide environnant s'en charge. Le tube fabriqué est donc ouvert à ses extrémités, ce qui permet de le couper à la longueur souhaitée sans perturber le processus. Des dimensions d'outillage similaires à celles utilisées pour les petits tubes peuvent être employées. Un faible taux de déformation résiduelle (DDR), entraînant une orientation réduite dans le cône, est particulièrement important si le tube doit être calibré ultérieurement.

Une orientation à l'état fondu élevée, associée à un post-formage, peut atteindre les limites d'allongement du polymère et provoquer des défaillances ou des ruptures.

## Tubes à paroi mince de grand diamètre

Les tubes à paroi mince de 12 à 30 mm de diamètre et de 0,3 à 0,8 mm d'épaisseur sont parfois fabriqués par la méthode du mandrin allongé. Une rallonge conique en laiton est fixée au guide ou à l'extrémité. Le guide est généralement chauffé électriquement pour éviter la rupture du polymère fondu, et le mandrin est refroidi ou très légèrement chauffé à l'huile pour solidifier le fluoropolymère fondu et éviter qu'il ne colle.



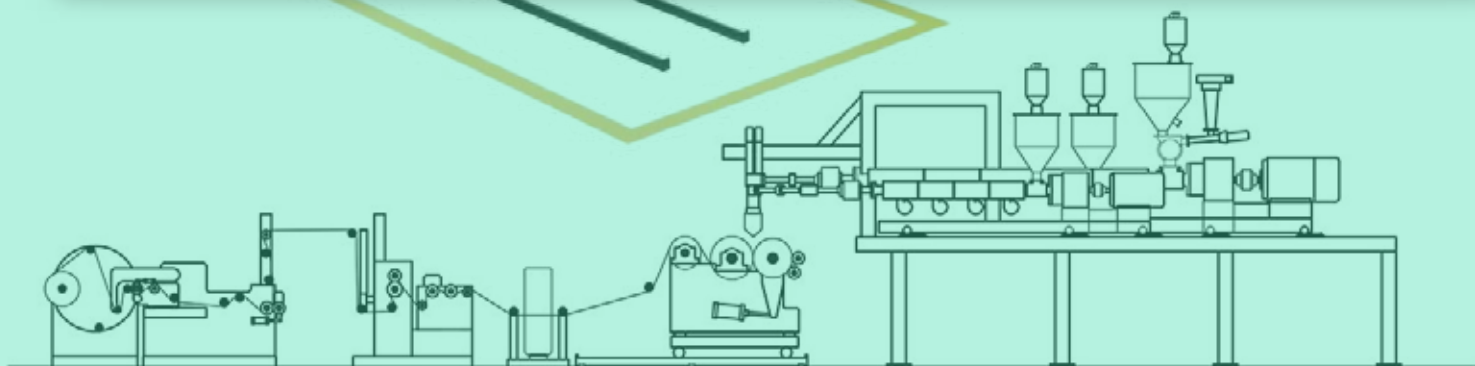


# Films et feuilles

Les films fluoropolymères Everflon™ trouvent des applications dans des environnements soumis à des températures extrêmes et à des produits chimiques agressifs. Par exemple, ils servent de films de démoulage lors du moulage par compression de pièces haute température avec des résines époxy et phénoliques. On les utilise également fréquemment comme revêtements, notamment pour protéger les rouleaux métalliques de la corrosion dans les industries de transformation chimique telles que la fabrication du papier. Parmi les autres applications, citons le vitrage des capteurs solaires, les poches pour échantillons de gaz et de liquides, ainsi que les emballages pharmaceutiques et alimentaires. Les fluoroplastiques Everflon™ partiellement fluorés offrent des films présentant une résistance à la traction et un module d'élasticité particulièrement élevés, pour les applications exigeant une grande robustesse mécanique.

Les films fluoropolymères Everflon™ à orientation monoaxiale et biaxiale sont fabriqués par extrusion à l'état fondu de la résine, sous forme de bandes ou de tubes plats. L'orientation a pour principal objectif d'améliorer les propriétés mécaniques du film, telles que la résistance à la rupture et la résistance au déchirement. Le choix de l'orientation dépend généralement des exigences de l'application finale en matière de propriétés mécaniques. La filière la plus courante pour extruder un film plat en fluoroplastique est la filière en forme de cintre. La figure illustre schématiquement une telle filière. Le fluoropolymère Everflon™ fondu pénètre dans la filière près de son centre latéral et est dirigé vers ses deux extrémités. Il circule ensuite dans les canaux inclinés vers la sortie, se répartissant ainsi sur toute la largeur de la filière. Le polymère Everflon™ fondu s'écoule à travers l'espace entre les deux plaques métalliques plates et est appelé zone de contact, comme pour d'autres types de filières. Ces plaques sont généralement composées de plusieurs sections, réglables indépendamment pour un meilleur contrôle de l'épaisseur du film/de la feuille extrudée.

La filière est conçue de manière à ce que les canaux restreignent l'écoulement du polymère fondu, assurant ainsi une contrainte de cisaillement uniforme. La distance parcourue est uniformisée par les dispositifs de retenue intégrés aux canaux. L'effet net est un débit égal au centre et aux extrémités de la filière, assurant ainsi une épaisseur de bande uniforme. Cela signifie que le débit au centre de la filière est le plus restreint. L'un des avantages de cette approche est l'uniformité du temps de séjour dans la filière. Ce régime est appelé écoulement piston car aucun cisaillement interne n'est généré dans le polymère fondu lors de son passage dans la filière.



# GUIDE DE DÉPANNAGE

## Variations de traitement

| Causes possibles                                    | Problème                    |                     |            |                   |         |                       |                     |             |                          |
|---|-----------------------------|---------------------|------------|-------------------|---------|-----------------------|---------------------|-------------|--------------------------|
|   | Rupture de la résine fondue | Vitesse d'extrusion | Trop lente | Étincelle Défauts | Ballons | Variations du calibre | Mauvais centrage ou | Déformation | Petits trous, déchirures |
| Contamination                                       |                             |                     | ●          |                   |         |                       |                     | ●           | ●                        |
| Résine trop froide                                  | ●                           | ●                   |            |                   |         |                       |                     | ●           | ●                        |
| Filtre trop froid                                   | ●                           | ●                   |            |                   |         |                       |                     | ●           | ●                        |
| Vitesse d'extrusion trop rapide                     | ●                           |                     | ●          |                   |         |                       |                     | ●           | ●                        |
| Cône trop court                                     |                             |                     |            |                   |         |                       |                     | ●           | ●                        |
| Bulles dans la résine fondue                        |                             |                     | ●          |                   |         |                       |                     | ●           | ●                        |
| Substrat sale, humide ou rugueux                    |                             |                     | ●          |                   |         |                       |                     | ●           | ●                        |
| Extrusion excessive                                 |                             |                     | ●          |                   |         |                       |                     | ●           | ●                        |
| Éclaboussures d'eau de refroidissement              |                             |                     | ●          |                   |         |                       |                     |             | ●                        |
| Pointe de guidage non centrée                       |                             |                     | ●          |                   |         |                       | ●                   |             |                          |
| Trou central de la pointe de guidage trop grand     |                             |                     |            |                   |         |                       | ●                   |             |                          |
| Refroidissement à l'eau insuffisant                 |                             |                     |            |                   |         |                       | ●                   |             |                          |
| Tension de la résine fondue insuffisante            |                             |                     |            |                   |         |                       | ●                   |             |                          |
| Déséquilibre du taux d'étirage                      |                             |                     |            |                   |         |                       | ●                   | ●           | ●                        |
| Débit de résine irrégulier                          |                             |                     |            |                   |         | ●                     | ●                   |             |                          |
| Conception de la vis inadéquate                     |                             | ●                   |            |                   |         | ●                     |                     |             |                          |
| Variations de la vitesse du fil                     |                             |                     |            |                   |         | ●                     |                     |             |                          |
| Variations du vide                                  |                             |                     |            |                   |         | ●                     |                     |             |                          |
| Cône trop long                                      |                             |                     |            |                   |         | ●                     |                     |             |                          |
| Variations du diamètre du fil                       |                             |                     |            |                   |         | ●                     |                     |             |                          |
| Température du cylindre arrière trop basse          |                             | ●                   |            |                   |         |                       |                     |             |                          |
| Extrusion insuffisante                              | ●                           | ●                   |            |                   |         |                       |                     |             |                          |
| Entrepôt d'air trop long                            |                             |                     |            |                   | ●       |                       |                     |             |                          |
| Dégazage du substrat                                |                             |                     |            | ●                 | ●       |                       |                     |             |                          |
| Temps de rétention de résine trop long              |                             |                     |            |                   | ●       |                       |                     |             |                          |
| Température de la résine trop élevée                |                             |                     |            |                   | ●       |                       |                     |             |                          |
| Conception de la filière ou de la pointe inadéquate |                             |                     |            |                   |         |                       |                     |             | ●                        |
| Résine ou pigment humide                            |                             |                     |            | ●                 | ●       |                       |                     | ●           | ●                        |



# GUIDE DE DÉPANNAGE

## Aspect de l'extrudat

Décoloration

Rugosité de surface

Mauvais Constructions pigmentées

Fissures dans l'isolation

Bulles

Contamination

Causes possibles

Problème

|   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Produits de corrosion                                 |   |   |   |   |   | ● |
| Rétention de résine localisée                         | ● |   |   |   | ● | ● |
| Température de résine trop élevée                     | ● |   | ● | ● | ● | ● |
| Tranche d'extrusion non propre                        |   |   |   |   |   | ● |
| Manipulation ou stockage inadéquats                   |   |   |   | ● |   | ● |
| Temps de rétention trop long                          | ● |   |   | ● | ● |   |
| Tension excessive                                     |   |   |   | ● |   |   |
| Fils cassés ou substrats tranchants                   |   |   |   |   | ● |   |
| Pénurie d'air   |   |   |   |   | ● |   |
| Préchauffage excessif du fil                          |   |   |   |   | ● |   |
| Résine humide   |   |   |   |   | ● |   |
| Substrat sale   |   |   |   |   | ● |   |
| Retraits dus à une trempé incorrecte                  |   |   |   |   |   |   |
| Filtre trop froid                                     |   | ● |   | ● |   |   |
| Filtre trop restrictif                                |   | ● |   |   |   |   |
| Température de résine trop basse                      |   | ● |   | ● |   |   |
| Contamination   |   | ● |   |   |   |   |
| Mauvaise qualité de surface de la filière             |   | ● |   |   |   |   |
| Positionnement incorrect de la pointe de guidage      |   | ● |   |   |   |   |
| Mauvaise extrusion du polymère fondu                  |   | ● |   | ● |   |   |
| Humidité absorbée par la résine                       |   | ● |   |   |   |   |
| Rugosité du fil ou du câble de base                   |   | ● |   |   |   |   |
| Lignes de soudure (filière et pointe incorrectes)     |   | ● |   | ● |   |   |
| Taux de dilution des concentrés de couleur incorrects |   |   | ● |   |   |   |
| Mauvaise dispersion du pigment                        |   |   | ● |   |   |   |
| Vitesse d'extrusion trop rapide                       |   | ● |   |   |   |   |
| Concentré de couleur incorrect                        |   |   | ● |   |   |   |

# GUIDE DE DÉPANNAGE

## Propriétés de l'extrudat

| Causes possibles                 | Problème                             |                              |                          |                          |                              |   |
|----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|---|
|                                  | Vieillesse thermique<br>insuffisante | Pouvoir de coupe insuffisant | Force de dénudage élevée | Force de dénudage faible | Faible rigidité diélectrique | Faible résistance à la traction<br>ou allongement insuffisant |
| Inadequate Wire Heat             |                                      |                              |                          |                          |                              | ●   |
| Bubbles or Voids                 | ●                                    |                              |                          |                          | ●                            | ●   |
| Poor Concentricity               | ●                                    | ●                            |                          |                          |                              |   |
| Contamination                    |                                      |                              |                          |                          | ●                            | ●   |
| Cone Length Too Short            |                                      |                              | ●                        |                          |                              |   |
| Cone Length Too Long             |                                      |                              |                          | ●                        |                              |   |
| Air Gap Too Short for Line Speed |                                      |                              |                          | ●                        |                              |   |
| Air Gap Too Long for Line Speed  |                                      |                              | ●                        |                          |                              |   |
| Excessive Degradation            | ●                                    |                              |                          |                          |                              | ●   |
| Coating Too Thin or Non-Uniform  | ●                                    | ●                            |                          |                          | ●                            | ●   |





# Everflon Academic Center

Tel: +86-185-7168-9228

[info@everflon.com](mailto:info@everflon.com)

[www.everflon.com](http://www.everflon.com)

Pour plus d'informations sur notre entreprise, nos produits et nos services, veuillez consulter notre site web à l'adresse [www.everflon.com](http://www.everflon.com) ou [www.everflonultra.com](http://www.everflonultra.com)