

Tout comme dans les assemblages en plastique moulés par injection, les Inserts Filetés sont couramment utilisés dans les assemblages imprimés en 3D pour offrir des filetages réutilisables et renforcer la résistance des joints. Cet article fournit des recommandations, des directives de conception et des prévisions de performances pour divers Inserts Filetés utilisés dans les procédés d'impression 3D par modélisation par dépôt fondu (FDM), par frittage laser sélectif (SLS) et par stéréolithographie (SLA), qui constituent les technologies de fabrication additive les plus pertinentes pour les assemblages bénéficiant des améliorations de performances offertes par les Inserts Filetés.



Figure 1

Insert SPIROL Série 29 Thermique / Ultrasonique
dans un ensemble yo-yo imprimé en 3D

Présentation de l'impression 3D

Extrusion de matière - Modélisation par dépôt fondu

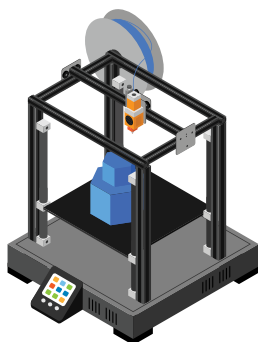


Figure 2

Technologie d'impression FDM

Fusion sur lit de poudre - Frittage laser sélectif



Figure 3

Technologie d'impression SLS

Photopolymérisation en cuve - Stéréolithographie

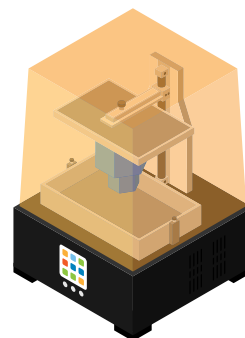


Figure 4

Technologie d'impression SLA

L'impression FDM consiste à extruder des filaments thermoplastiques fondus à travers une buse chauffée et à construire des pièces couche par couche. C'est la méthode d'impression 3D la plus répandue en raison de son coût abordable et de sa facilité d'utilisation. Les matériaux couramment utilisés pour le FDM sont le PLA, l'ABS et le PETG.

L'impression SLS utilise un laser pour fusionner des couches de thermoplastiques en poudre. Cette méthode est idéale pour créer des géométries complexes et permet d'obtenir des pièces dotées d'une excellente résistance mécanique. Le matériau le plus couramment utilisé en SLS est le nylon.

L'impression SLA utilise un laser UV pour durcir des résines thermodurcissables liquides couche par couche par photopolymérisation. Ce procédé permet d'obtenir des pièces de haute résolution et d'une grande précision.

Recommandations concernant les Inserts Filetés

Il existe différents types d'Inserts Filetés, souvent classés en fonction de leur méthode d'installation, comme la pose à chaud ou par ultrasons après moulage et l'insertion à froid. Le type d'Insert le mieux adapté à une application d'impression 3D dépend du matériau plastique d'accueil.

Pour les thermoplastiques (FDM et SLS)

Les thermoplastiques peuvent être chauffés et refroidis plusieurs fois sans que leurs propriétés ne soient altérées de manière significative. Par conséquent, les Inserts Filetés peuvent être installés dans des assemblages imprimés en 3D en thermoplastique à l'aide de chaleur (thermique) ou d'ultrasons, ou ils peuvent simplement être enfoncés ou vissés dans l'assemblage :

- Inserts Thermiques / Ultrasoniques : recommandés pour les assemblages nécessitant les meilleures performances en termes de résistance à la traction et au couple.
- Inserts à Enfoncer : ils offrent des performances modérées en termes de résistance à la traction et au couple, et sont les plus simples à installer car ils ne nécessitent pas d'équipement spécialisé.



Figure 5

Inserts Thermiques /
Ultrasoniques SPIROL Série
19/20 (en haut) et Série
29/30 (en bas)

Pour les plastiques thermodurcissables (SLA)

Les plastiques thermodurcissables restent solides de manière permanente après durcissement et se décomposent plutôt que de fondre lorsqu'ils sont soumis à des températures élevées. Il est donc conseillé d'installer les Inserts Filetés à « froid » :

- Inserts à Enfoncer : le choix le plus efficace pour les thermodurcissables.
- Inserts Autotaraudeurs : une alternative viable qui peut nécessiter moins de force pour l'installation, mais qui limite les performances en termes de couple de dévissage.
- Inserts à Expansion : les plus simples à installer, mais leurs performances sont les plus faibles de tous les types d'inserts.



Figure 6
Inserts à Enfoncer SPIROL
Séries 50 (en haut à gauche)
et 51 (en haut à droite) et
Insert Autotarauteur SPIROL
Série 10 (en bas)

Propriétés des matériaux

Les performances des Inserts sont fortement influencées par les propriétés du matériau d'accueil.

- Résistance à la traction : mesure la capacité du matériau à résister à la déformation plastique
- Module de flexion : influence la rigidité du matériau et sa capacité à répartir les forces de flexion, ce qui est essentiel pour prévenir la déformation et garantir une répartition adéquate de la charge

De plus, les propriétés thermiques affectent le processus d'installation, car les matériaux à conductivité plus élevée favorisent une répartition plus uniforme de la chaleur, améliorant ainsi l'écoulement plastique et garantissant un remplissage complet autour des éléments de retenue pour une liaison sûre. De même, la température de déflexion thermique d'un plastique donné influencera la température requise pour l'installation par chauffage ou par ultrasons de l'Insert Fileté.

Directives de conception

Les performances d'un Insert Fileté dans les matériaux imprimés en 3D sont influencées par plusieurs facteurs clés. Cette section présente les directives de conception essentielles, en mettant l'accent sur la taille du trou d'accueil, les propriétés du matériau, l'épaisseur de paroi, le remplissage et l'épaisseur de couche afin de garantir des performances optimales de l'Insert Fileté dans les applications d'impression 3D.

Taille du trou

La taille du trou est essentielle pour les performances des Inserts Filetés. Le catalogue d'Inserts Filetés de SPIROL fournit des directives concernant la taille des trous, mais les tolérances de l'impression 3D dépassent souvent la valeur recommandée de +0,08 mm. Les tolérances typiques sont les suivantes :

- Impression FDM industrielle : $\pm 0,2$ mm
- Imprimantes de bureau : $\pm 0,3-0,5$ mm
- Imprimantes SLA : $\pm 0,1$ mm
- Impression SLS : $\pm 0,3$ mm

Pour atténuer ces variations, une option consiste à percer des trous dans le support en plastique, ce qui réduit les variations mais peut compromettre le renforcement des parois extérieures imprimées en FDM (ce point est abordé plus en détail dans cet article). Une autre solution consiste à procéder à un développement itératif jusqu'à obtenir la taille de trou optimale.

Épaisseur des parois

Les Inserts Filetés nécessitent une épaisseur de paroi solide suffisante dans la zone environnante pour répondre aux attentes de performance. Pour une performance optimale de l'Insert, concevez le nombre de boucles de paroi extérieure de manière à créer une saillie solide (bossage) d'au moins 1,5 fois le diamètre du moletage de l'Insert. Pour un Insert fileté M6, cela correspond à 6 boucles de paroi (avec un diamètre de buse de 0,4 mm). Le potentiel de performance maximal est atteint avec un bossage d'au moins deux fois le diamètre de la molette d'insertion.

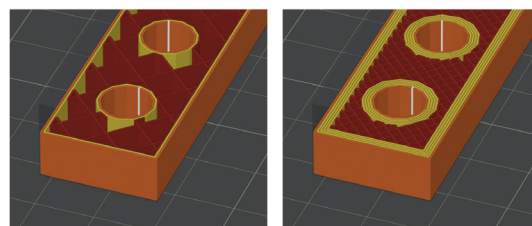


Figure 7
Remplissage à 15 % avec 2 boucles de paroi (à gauche),
remplissage à 55 % avec 5 boucles de paroi (à droite)

Remplissage (FDM uniquement)

Les performances de l'Insert augmentent linéairement avec la densité de remplissage. Pour des performances optimales de l'Insert, concevez avec une densité de remplissage supérieure à 50 %.

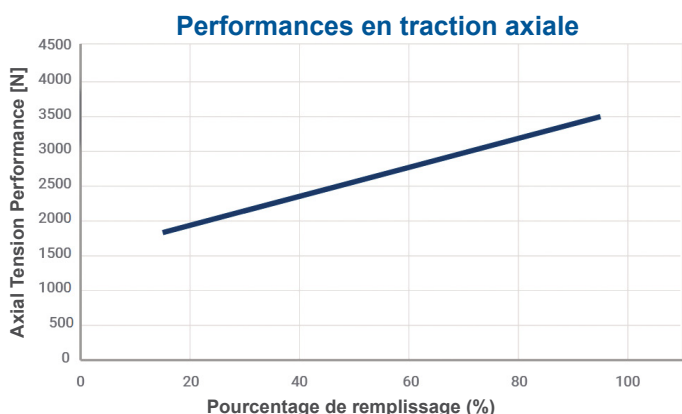
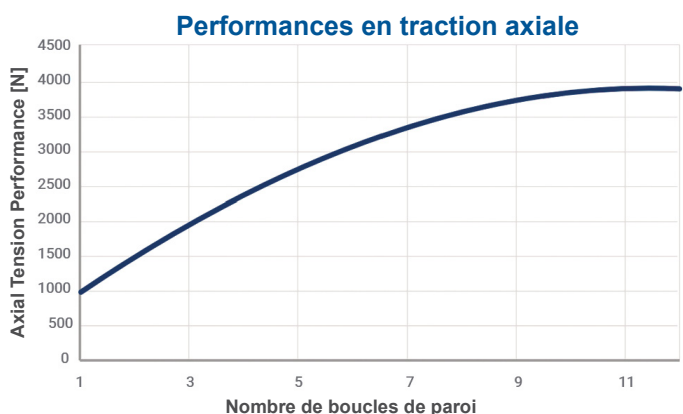
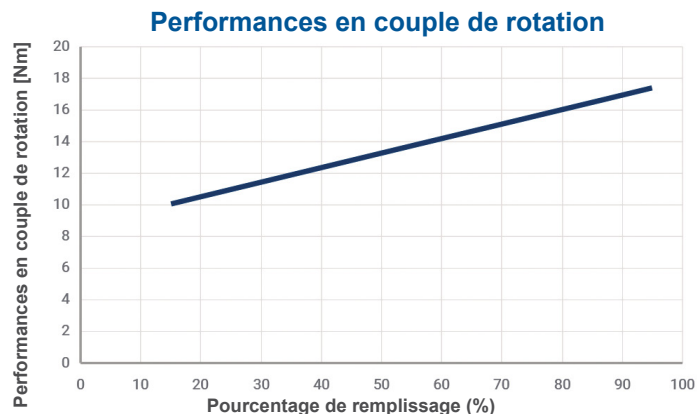
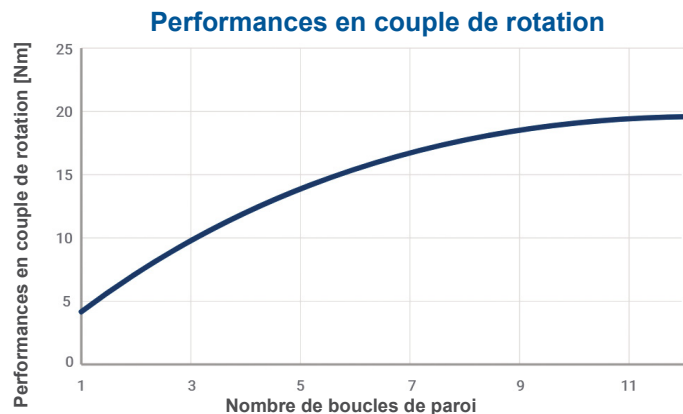


Figure 8

Performances de l'Insert en fonction du nombre de boucles murales (matériau PLA, remplissage à 15 %, essais réalisés avec SPIROL INS 29 M6 court)

Figure 9

Performances de l'Insert en fonction du remplissage (matériau PLA, 2 boucles murales, test réalisé avec SPIROL INS 29 M6 court)

Épaisseur de couche (FDM, SLS)

En général, des couches plus épaisses entraînent une liaison inter-couches plus faible en raison de la présence de vides plus importants. Les meilleures performances de l'Insert sont généralement obtenues avec une épaisseur de couche comprise entre 0,16 et 0,2 mm pour les procédés FDM et SLS, où la résistance à la traction est optimisée.

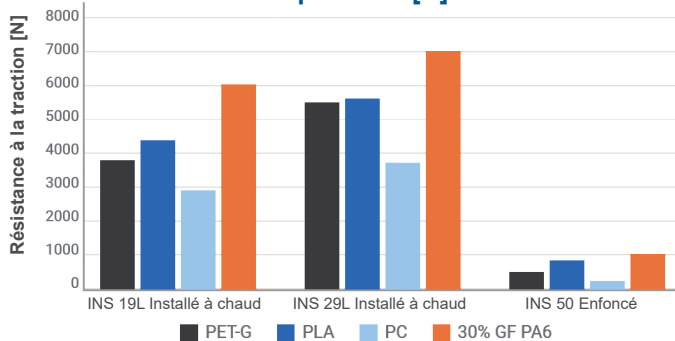
Comparaison des performances des Inserts

Comparons les performances de trois (3) séries différentes d'inserts filetés M6 : les inserts thermiques symétriques (SPIROL INS 29 Long) et asymétriques (SPIROL INS 19 Long), ainsi qu'un insert fileté à emmanchement à la presse (SPIROL INS 50), dans des matériaux couramment utilisés en impression 3D. Des résultats d'essais comparatifs détaillés sont fournis pour des pièces imprimées en FDM, SLS et SLA. Ces informations aideront les concepteurs à choisir l'insert fileté optimal en fonction des exigences spécifiques de performance.

Composants imprimés en FDM

Comme prévu, les performances des Inserts Thermiques / Ultrasoniques surpassent celles des Inserts à Enfoncer dans les différents matériaux imprimés en 3D. Ces résultats sont cohérents avec les performances observées dans les plastiques extrudés.

Résistance à la traction des matériaux imprimés par FDM [N]



Performances de couple des matériaux imprimés en FDM [Nm]

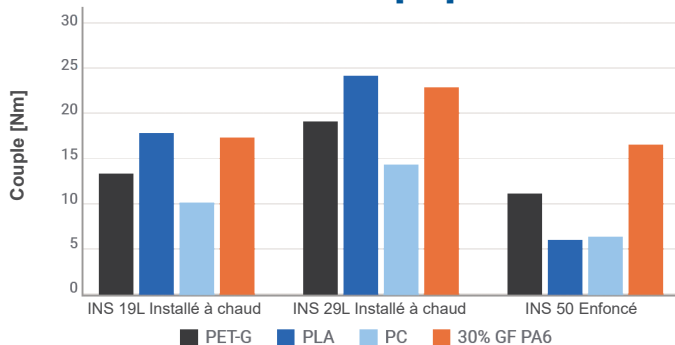


Figure 10

Moyennes des mesures de résistance à la traction FDM, M6, newtons-mètres (Nm)*

*Les essais sur les échantillons FDM ont été réalisés avec un taux de remplissage de 55 % et une épaisseur de paroi de 1,5 fois celle de la paroi (5 boucles de paroi). Les valeurs estimées pour les performances des Inserts peuvent être calculées à partir de la relation entre le taux de remplissage et les performances. L'épaisseur de couche a été maintenue à 0,16 mm afin de maximiser la résistance à la traction, car cela facilite le dépôt fin du matériau. L'angle de trame a été maintenu à $\angle 0^\circ$.

Composants imprimés par SLS

Bien que les composants SLS soient fabriqués avec un taux de remplissage de 100 % et puissent atteindre une résistance mécanique comparable à celle des composants moulés ou extrudés, la microporosité peut réduire considérablement les performances de l'Insert.

Composants imprimés par SLA

Étant donné que les matériaux d'impression SLA sont principalement des plastiques thermodurcissables, seuls les Inserts à Enfoncer peuvent être utilisés efficacement, car ils conviennent idéalement à une installation par enfoncement sans chauffage du matériau hôte.

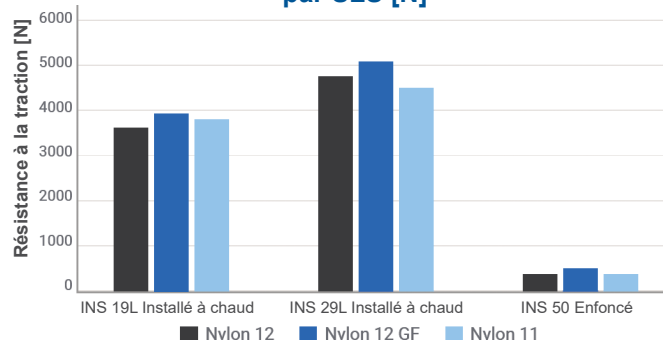
Les Inserts Filetés Autotaraudeurs constituent une alternative viable, mais comme ils sont vissés dans l'assemblage, leur montage prend du temps et ils peuvent se dévisser si l'assemblage n'est pas permanent. En raison de cette difficulté, les Inserts Filetés Autotaraudeurs n'ont pas été inclus dans cette étude, tout comme les Inserts de Type à Expansion en raison de leurs faibles performances.

Matériau	Couple (N*m)	Tension (N)
Résine	7	40

Tableau 1

Performances de l'Insert à Enfoncer SPIROL (INS 50 / M6 / .312 EK) dans une résine photopolymère transparente

Résistance à la traction des matériaux imprimés par SLS [N]



Couple des matériaux imprimés par SLS [Nm]

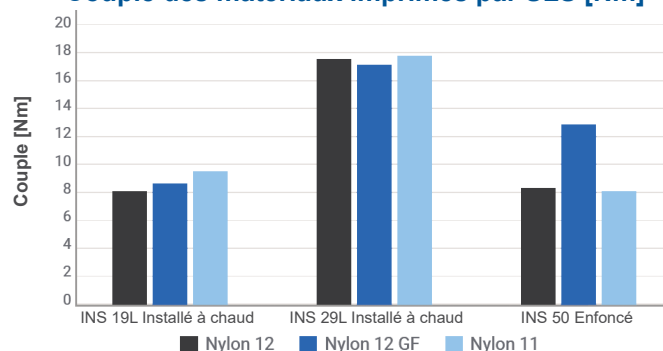


Figure 11

Moyennes des mesures de résistance à la traction SLS, M6, newtons-mètres (Nm)*

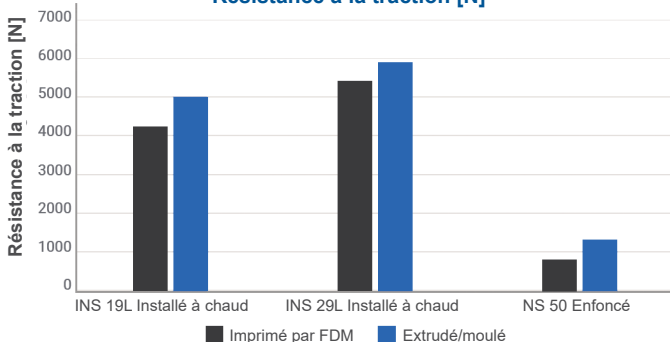
Comparaison avec les composants moulés

Lorsqu'on compare les différences entre les composants fabriqués par moulage plastique et par impression 3D, il est important de noter qu'un même matériau peut présenter des propriétés très variables qui affectent les performances de l'Insert.

Malgré la géométrie en couches des composants imprimés par FDM, ceux-ci atteignent des performances élevées, en particulier lorsqu'on utilise des Inserts Thermiques / Ultrasoniques. Une comparaison directe entre le polycarbonate (PC) imprimé par FDM et le plastique extrudé est présentée à la Figure 12.

Les impressions SLS sont plus sujettes aux microfissures et à une défaillance précoce de l'Insert. Les poudres SLS ont tendance à présenter des propriétés matérielles plus faibles que les plastiques similaires destinés au moulage, souvent en raison de compositions différentes et de la microporosité des composants finaux imprimés. Étant donné que les propriétés du matériau diffèrent considérablement, les performances d'un Insert peuvent être de 20 % à 50 % inférieures à celles d'un plastique extrudé.

Comparaison des performances FDM en polycarbonate



Comparaison des performances FDM en polycarbonate

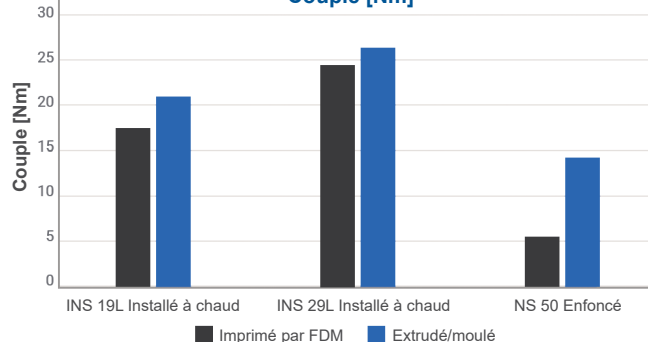


Figure 12

Comparaison des performances entre le FDM et les plastiques extrudés/moulés (FDM : remplissage à 55 % et 5 boucles de paroi)

*Les essais sur les échantillons FDM ont été réalisés avec un taux de remplissage de 55 % et une épaisseur de paroi de 1,5 fois celle de la paroi (5 boucles de paroi). Les valeurs estimées pour les performances des Inserts peuvent être calculées à partir de la relation entre le taux de remplissage et les performances. L'épaisseur de couche a été maintenue à 0,16 mm afin de maximiser la résistance à la traction, car cela facilite le dépôt fin du matériau. L'angle de trame a été maintenu à $\angle 0^\circ$.

Méthodes d'installation pour le prototypage

Jusqu'à 70 % des performances d'un Insert dépendent directement de la qualité de l'installation, en particulier lorsqu'il s'agit d'une installation par chaleur ou par ultrasons. L'alignement, la température, la pression et le temps de soudage sont tous des facteurs importants.



Figure 13
Fer à souder

Les meilleurs résultats dans les laboratoires de prototypage sont obtenus à l'aide d'équipements spécialement conçus à cet effet.

Pour des essais rapides ou lorsque l'on ne dispose pas d'équipements spécialisés, un fer à souder peut également être utilisé. Il convient de noter que lorsqu'on utilise un fer à souder pour l'installation d'un Insert, il est préférable qu'il soit équipé d'une panne qui s'engage autant que possible sur l'Insert. Une bonne température de fonctionnement pour l'installation à l'aide d'un fer à souder se situe généralement entre 650 °F et 750 °F (343 °C et 399 °C). Une règle empirique pour évaluer la température d'installation par chaleur directe consiste à ajouter un facteur de sécurité supplémentaire à la température de déflexion thermique du matériau concerné :

$$T_{\text{installation}} = T_{\text{de déflexion thermique}} + 150^{\circ}\text{F} (65^{\circ}\text{C})$$

La température de déflexion thermique est la température à laquelle un thermoplastique se déforme sous une charge spécifiée. Appliquez une pression constante sur l'Insert en appuyant sur le fer à souder lorsqu'il entre en contact avec l'Insert Fileté.

Pour les Inserts à Enfoncer, il convient d'utiliser une presse à mandrin pour appliquer une pression constante ; dans le cas de plastiques plus tendres, un marteau peut constituer une option d'installation peu coûteuse.

Pour les solutions de production de faible à grand volume, envisagez un équipement d'installation semi-automatique ou entièrement automatique.

Points clés

Les Inserts Thermiques / Ultrasoniques offrent la plus grande résistance dans les thermoplastiques imprimés en 3D, tandis que les Inserts à Enfoncer constituent une alternative viable, en particulier pour les matériaux thermodurcissables, où l'installation à chaud n'est pas envisageable. Les plastiques thermodurcissables limitent intrinsèquement les options d'insertion aux méthodes d'enfoncement.

Les principales conclusions indiquent que les performances des Inserts Filetés s'améliorent avec l'augmentation de la densité de remplissage et du nombre de boucles de paroi dans l'impression FDM, avec des résultats optimaux pour une épaisseur de couche de 0,16 à 0,2 mm, un remplissage de 50 % ou plus, et un nombre de boucles de paroi égal ou supérieur à la taille métrique nominale de l'Insert.

Les résultats montrent qu'avec un remplissage et une épaisseur de paroi élevés, les composants imprimés en 3D par FDM offrent environ 70 à 80 % des performances d'un matériau moulé équivalent. Alors que les composants SLS présentent une résistance théorique élevée, leur microporosité peut limiter leurs performances à environ 50 à 70 % par rapport aux plastiques moulés.

Contactez SPIROL pour obtenir de l'aide dans le choix de l'Insert Fileté adapté à vos conceptions de production et de prototypes imprimés en 3D. En raison de la diversité des méthodes, des matériaux et des paramètres d'impression 3D, les résultats peuvent varier ; il est donc recommandé de procéder à des tests et à une évaluation approfondie pour chaque assemblage.

Centres techniques

Europe **SPIROL France**
Saint-Léonard
+33 (0) 3 26 36 31 42
info-fr@spirol.com

SPIROL Royaume-Uni
Corby, Northants, Angleterre
+44 (0) 1536 444800
info-uk@spirol.com

SPIROL Ford
South Shields, Tyne & Wear,
Angleterre
+44 (0) 1914 540141
contactus@ford-engineering.com

SPIROL Allemagne
Munich
+49 (0) 89 4 111 905 71
info-de@spirol.com

SPIROL Espagne
Barcelone
+34 932 71 64 28
info-ib@spirol.com

SPIROL République Tchèque
Tuchoměřice
+420 226 218 935
info-cz@spirol.com

SPIROL Pologne
Varsovie
+48 510 039 345
info-pl@spirol.com

Amériques **SPIROL International Corporation**
Connecticut, États-Unis
+1 860 774 8571
info@spirol.com

SPIROL division des Cales
Ohio, États-Unis
+1 330 920 3655
info@spirol.com

SPIROL Canada
Windsor, Ontario
+1 519 974 3334
info-ca@spirol.com

SPIROL Mexique
Apodaca, Nuevo León
+52 81 8385 4390
info-mx@spirol.com

SPIROL Brésil
Indaiatuba, São Paulo
+55 19 3936 2701
info-br@spirol.com

**Asie
Pacifique** **SPIROL Chine**
Shanghai
+86 (0) 21 5046-1451
info-cn@spirol.com

SPIROL Malaisie
Iskandar Puteri, Johor
+60 77 063 960
info-my@spirol.com

SPIROL Corée
Séoul, Corée du Sud
+82 (0) 10 9429 1451
info-kr@spirol.com