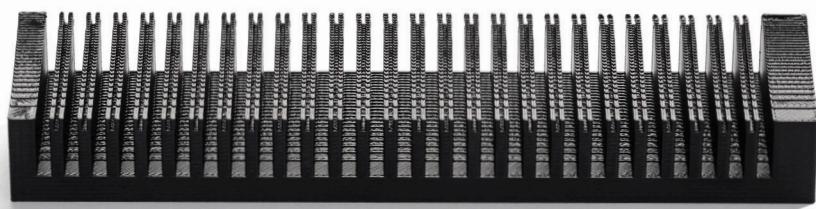




## Propriétés électriques d'Antero 840CN03



# Propriétés électriques d'Antero 840CN03

L'Antero™ 840CN03 est un matériau polyéthercétonecétone (PEKK) fabriqué en exclusivité par Stratasys appartenant à la famille des polyaryléthercétones (PAEK). Il s'agit d'une résine thermoplastique semi-cristalline à hautes performances reconnue pour sa robustesse, sa tolérance aux températures élevées et son excellente résistance aux produits chimiques.

L'Antero 840CN03 est un matériau ESD (dissipateur de charges électrostatiques) capable de dissiper le courant à travers sa matrice polymère pour éviter les décharges électrostatiques dans les pièces imprimées en 3D avec lui. Les expérimentations réalisées pour caractériser ses propriétés électrostatiques ont montré que la plupart des géométries des pièces fabriquées possèdent une résistance comprise entre 103 et 109 ohms, ce qui est conforme aux exigences de la plupart des industries en matière d'ESD.

L'objectif de cette évaluation des propriétés électriques était de caractériser les performances types en matière d'ESD de différentes géométries imprimées en 3D dans des conditions standard. La série des pièces testées représente des géométries courantes afin d'illustrer les résultats attendus. Les performances réelles des pièces peuvent varier et doivent être évaluées au cas par cas.



Figure 1. Ohmmètre PRS et sonde à anneaux concentriques.

## Méthodes :

Les méthodes et spécifications applicables aux tests des matériaux et des pièces qui en découlent sont décrites dans les normes suivantes :

- **ANSI ESD S20.20**—Standard for the Development of an ESD Control Program (Norme pour le développement d'un programme de contrôle des décharges électrostatiques)
- **ANSI ESD S11.11**—Surface Resistance Measurement of Static Dissipative Planar Materials (Mesure de la résistance superficielle des matériaux plans dissipateurs de charges électrostatiques)
- **ANSI ESD STM11.12**—Volume Resistance Measurement of Static Dissipative Planar Materials (Mesure de la résistance volumique des matériaux plans dissipateurs de charges électrostatiques)
- **ASTM D257**—Standard Test Methods for DC Resistance or Conductance of Insulating Materials (Méthodes de test standard pour la résistance en continu et la conductance des matériaux isolants)
- **ASTM D4496**—Standard Test Methods for DC Resistance or Conductance of Moderately Conductive Materials (Méthodes de test standard pour la résistance en continu ou la conductance des matériaux modérément conducteurs)

L'équipement utilisé pendant les tests était l'ohmmètre Prostat PRS-801 associé à une sonde à anneaux concentriques PRS-911 (Figure 1), conformément aux spécifications de la norme ANSI ESD. Des tests externes supplémentaires ont également été mis en œuvre selon la méthode de la peinture à l'argent mentionnée dans les normes ASTM ci-dessus.

# Propriétés électriques d'Antero 840CN03

Pour caractériser les performances du matériau, une série de pièces ESD (Tableau 1, Figure 2) a été constituée pour évaluer différentes orientations de fabrication, positions dans l'imprimante, trames et géométries complexes, afin d'illustrer les différents résultats que les clients sont susceptibles de rencontrer avec l'infinité de types de pièces qu'ils sont amenés à concevoir.

Série de pièces
Description
Plaque posée à plat (XY)
Plaque posée sur le bord (ZX) (Figure 2, B)
Plaque posée à 45 degrés (Figure 2, A)
Plaque posée à plat surélevée de 1 pouce
Plaque posée à plat surélevée de 2 pouces
Plaque posée à plat surélevée de 4 pouces
Test sur l'ensemble du plateau, plaque posée à plat (XY)
Cylindre fin (paroi 0,050 po) XZ (Figure 2, C)
Cylindre fin (paroi 0,050 po) ZX (Figure 2, C)
Cylindre fin (paroi 0,10 po) XZ
Cylindre fin (paroi 0,10 po) ZX
Cylindre épais (paroi 0,20 po) XZ (Figure 2, D)
Cylindre épais (paroi 0,20 po) ZX (Figure 2, D)

Tableau 1. Série de pièces soumises au test ESD.

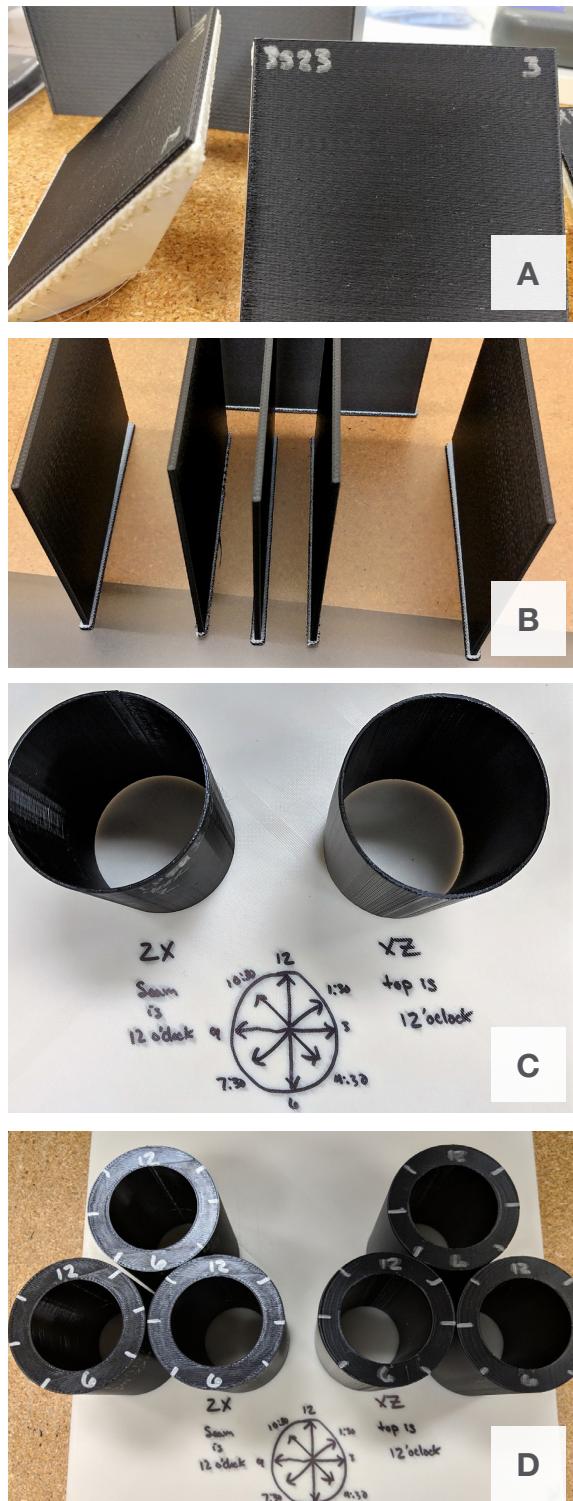


Figure 2. Exemples de pièces de la série soumise aux tests ESD.  
 A) Plaque posée à 45 degrés. B) Plaque posée sur le bord (ZX).  
 C) Cylindre fin (paroi 0,05 po) D) Cylindre épais (paroi 0,20 po).

# Propriétés électriques d'Antero 840CN03

Toutes les pièces ont été imprimées avec des systèmes F900™ renforcés, en utilisant plusieurs imprimantes et plusieurs lots. Dans un souci de cohérence, tous les groupes d'échantillons ont été normalisés en trois éprouvettes de test alignées au milieu du plateau de fabrication (Figure 3). Ces trois éprouvettes constituaient un dispositif, les valeurs consignées correspondant à la moyenne de chacun des dispositifs ainsi testés.

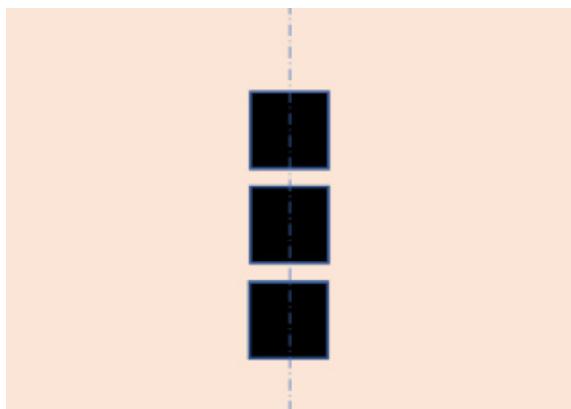


Figure 3. Configuration standard d'un groupe d'éprouvettes.

Une ligne de référence a été établie avec des plaques 4 x 4 x 0,1 po posées à plat (XY), sur le bord (ZX), et à 45°. Ces plaques ont été incluses dans la série de pièces et utilisées pour établir une performance de référence pour le matériau.

Voici quelques-unes des variables supplémentaires évaluées dans le cadre de l'étude (pièces détaillées au Tableau 1) :

- Distance du plateau de fabrication
- Position des pièces sur le plateau de fabrication
- Épaisseur et trame des pièces
- Épaisseur et surfaces courbes

La résistance a été mesurée, puis convertie en résistivité pour le rapport et calculée de la manière suivante :

**Résistivité volumique** =  $\rho_v$  ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )

$$\rho_v = R_v \frac{A}{t}$$

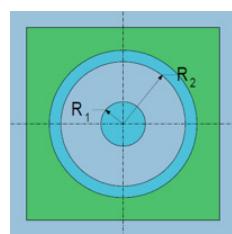
$R_v$  = volume resistance,  $\Omega$ ,  
 $A$  = area of the electrodes,  $\text{cm}^2$ , and  
 $t$  = distance between the electrodes,  $\text{cm}$ .

**Résistivité superficielle** en  $\Omega$  (par carré)  $\rho_s$

$$\rho_s = R_s (W/L)$$

$R_s$  = surface resistance,  $\Omega$   
 $L$  = length of the specimen between electrodes, and  
 $W$  = width of the specimen.

**Pour le système Prostat**



$$\rho_s = R_s \frac{2\pi}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$$

$$\rho_v = (6,9/t) \times R_v$$

$$t = \text{épaisseur (cm)}$$

# Propriétés électriques d'Antero 840CN03

Les résultats des tests montrent que ni la hauteur du plateau de fabrication, ni l'orientation, l'épaisseur, la trame ou la position des pièces dans l'imprimante n'ont d'effet significatif sur la résistance des plaques. Toutes les valeurs de résistance sont du même ordre de grandeur (E5), avec peu de variations entre les plaques. Lorsque les valeurs sont corrigées pour obtenir la résistivité (surface = ohms/carré, volume = ohms-cm), elles augmentent d'environ un ordre de grandeur (figure 9).

Stratasys a testé des échantillons cylindriques en employant les mêmes méthodes, en évaluant des cylindres à parois fines (0,05 po), moyennes (0,1 po) et épaisses (0,2 po) afin de déterminer s'il existe une corrélation entre l'épaisseur des parois et les propriétés électriques des surfaces courbes.

Chaque tube a été testé en quatre points en utilisant un cadran pour identifier leur position horaire (12 h, 3 h, 6 h et 9 h). Pour les cylindres

fabriqués horizontalement, la position 12 h correspond au sommet de l'impression, tandis que pour ceux qui le sont verticalement, elle coïncide avec l'emplacement de la couture (Figure 2, C et D).

Les résultats des tests ont été validés par un laboratoire d'essais électriques externe.

Les figures 4 à 6 montrent que la modification de la hauteur du plateau (Figure 5), de l'orientation (Figure 4) ou de la position des pièces dans l'imprimante (Figure 6) n'a aucun effet, ou très peu, sur les propriétés électriques de celles-ci une fois imprimées. Cela démontre la capacité du matériau et de l'impression à fournir des performances ESD stables et constantes.

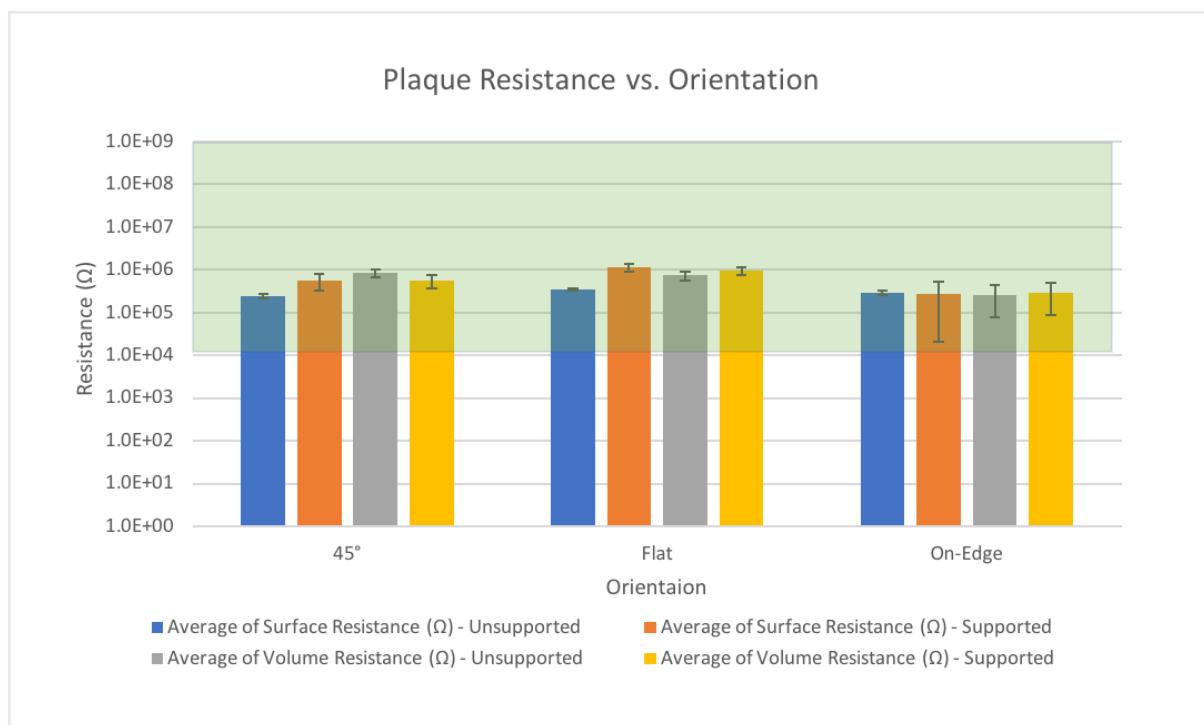


Figure 4. Résistance d'une plaque de 4 x 4 x 0,1 po en fonction de l'orientation de fabrication.

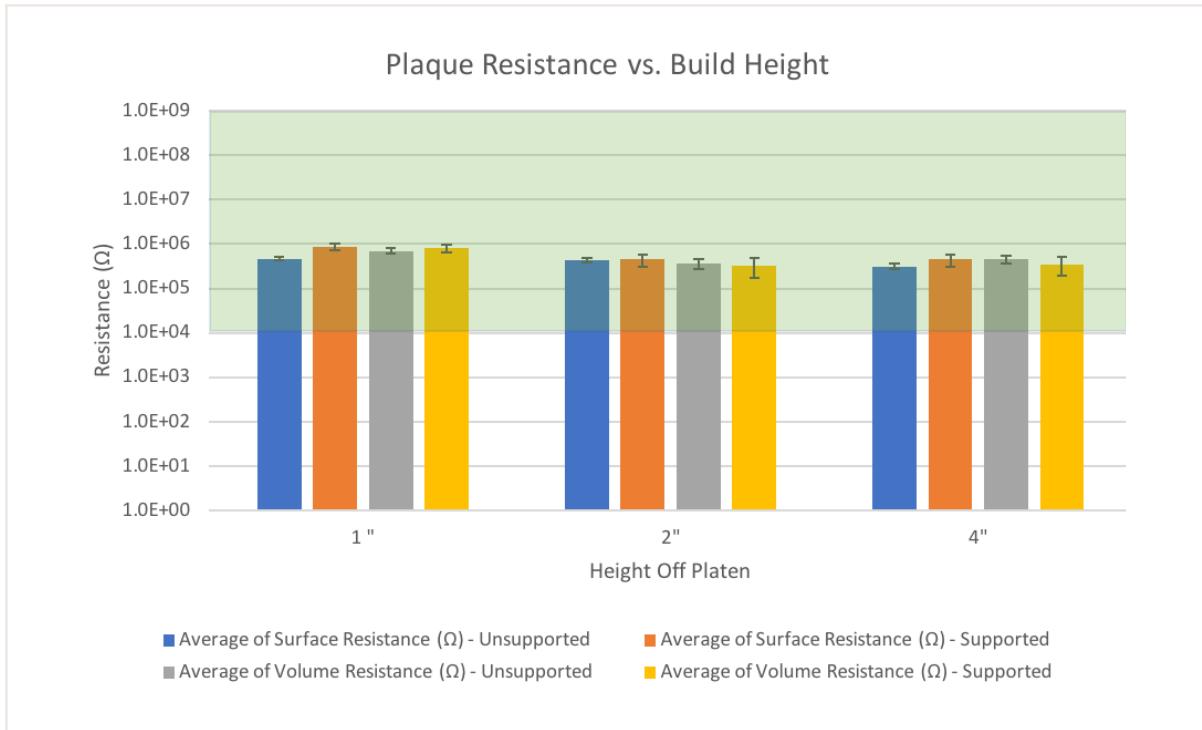


Figure 5. Valeurs de résistance en fonction de la hauteur de la plaque.

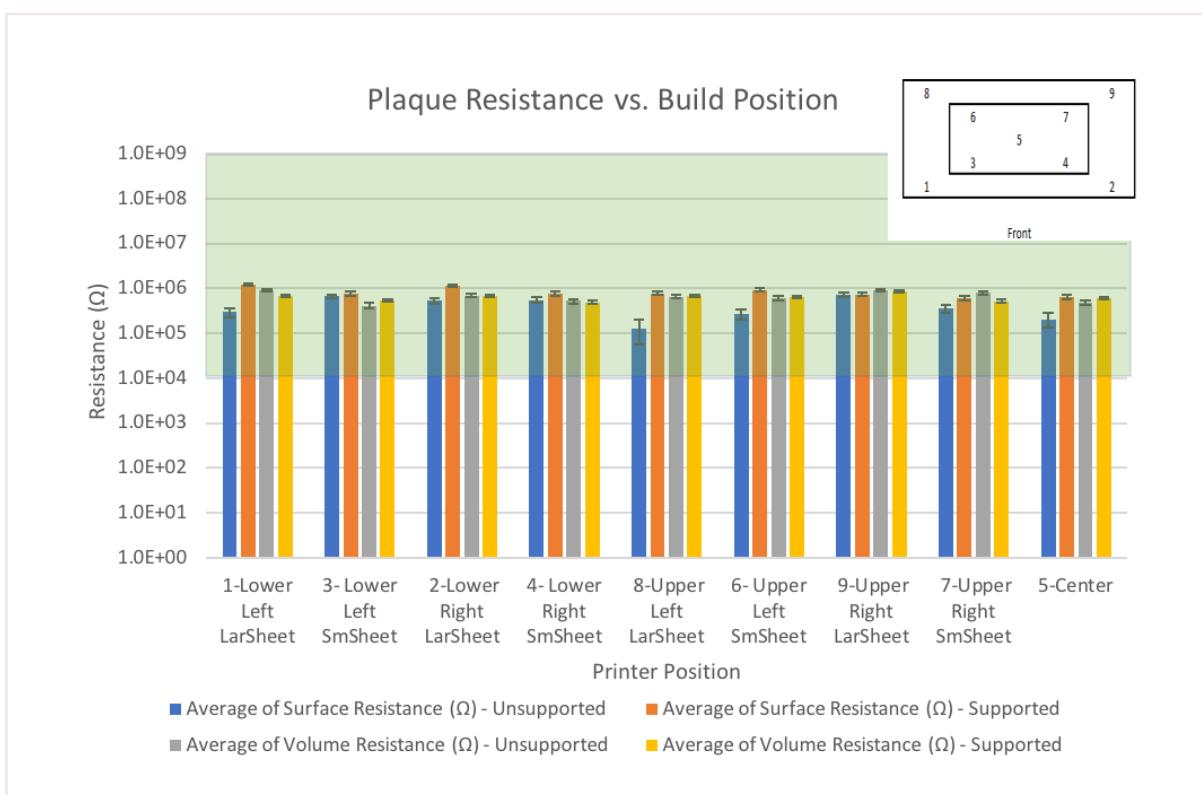


Figure 6. Résistance de la pièce en fonction de la position de fabrication de la plaque.

Les figures 7 et 8 montrent que l'épaisseur et le type de trame ont également peu d'effet sur la conductance électrique à travers la pièce. Les figures montrent également la différence entre résistance et résistivité, et leurs possibles variations en fonction de l'épaisseur des pièces mesurées.

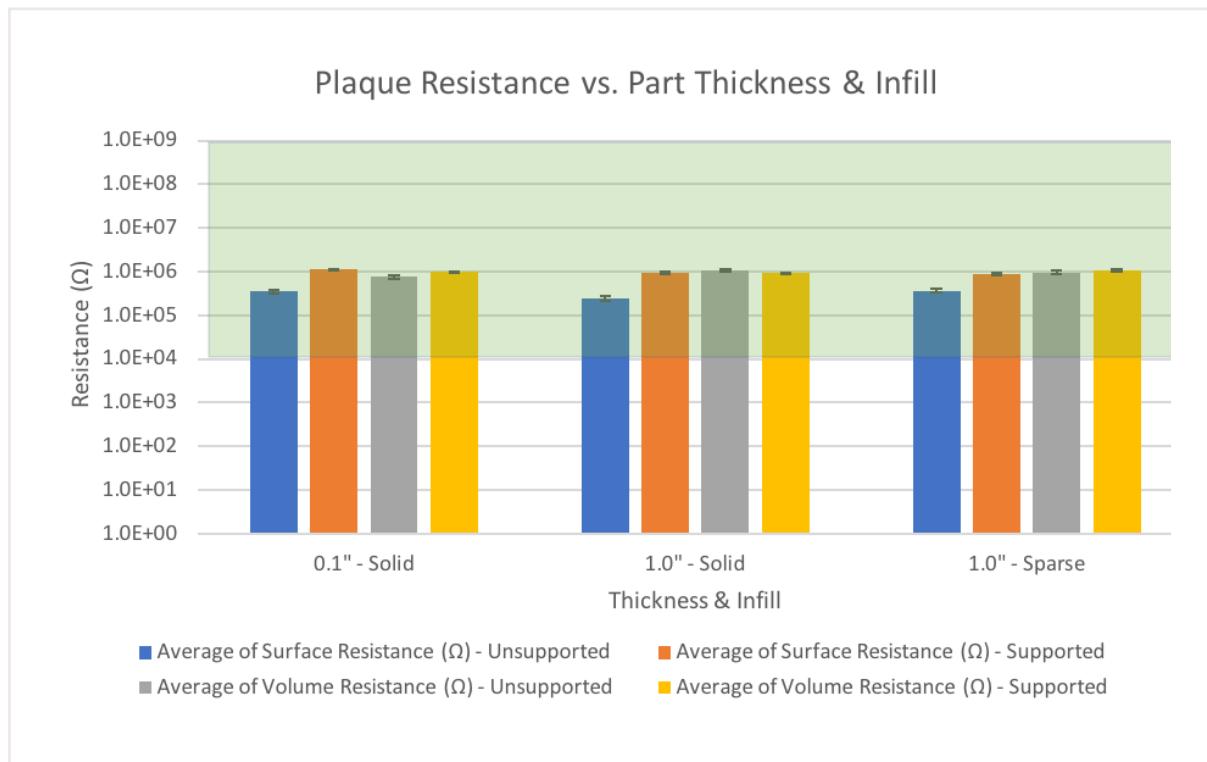


Figure 7. Variation de la résistance en fonction de l'épaisseur et de la trame interne des pièces.

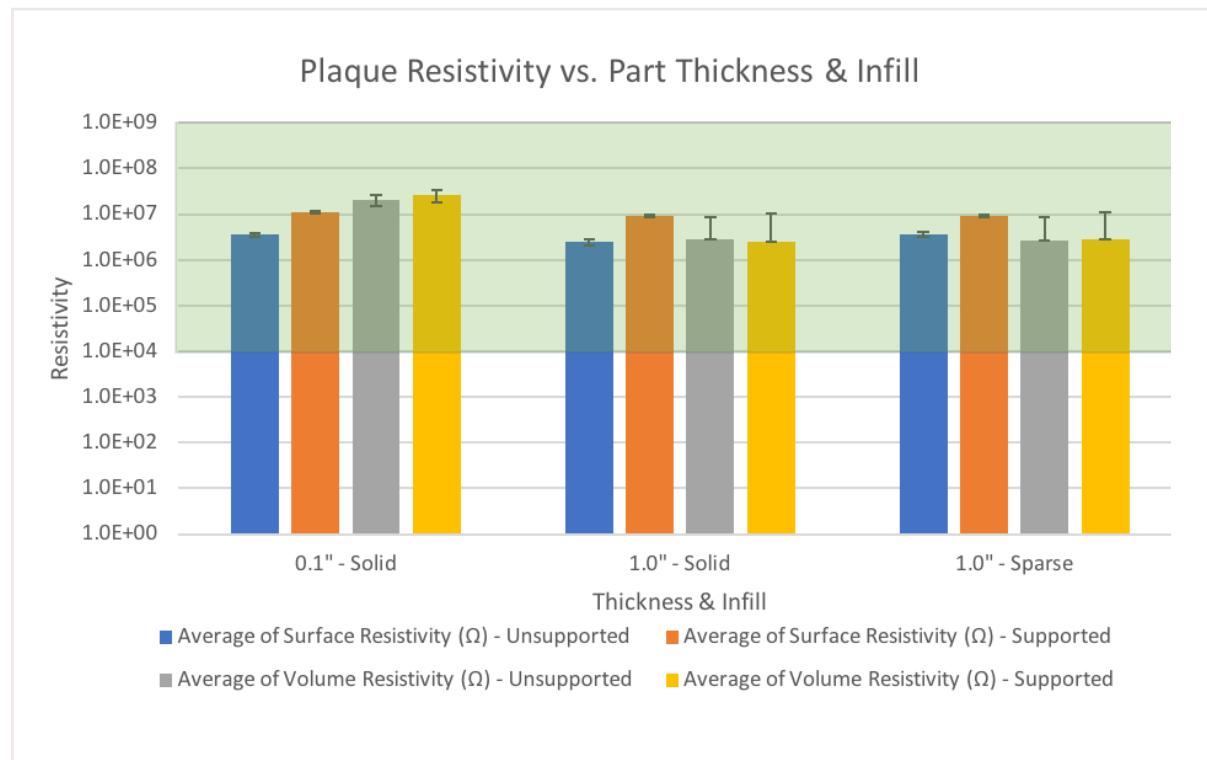


Figure 8. Variation de la résistivité en fonction de l'épaisseur et de la trame interne des pièces.

Les figures 9 et 10 montrent les résultats électriques pour les cylindres creux selon que ceux-ci sont imprimés couchés ou debout.

La résistance superficielle des cylindres sur la Figure 9 illustre que l'orientation debout (ZX) donne une valeur bien plus homogène que les éprouvettes couchées sur le côté (XZ). Cela est dû à l'effet d'escalier que nous observons sur les cylindres aux parois les plus épaisses, qui empêche la propagation du courant à travers la pièce. Au fur et à mesure que l'épaisseur de la paroi augmente, la résistance se stabilise, puis décroît.

La Figure 10 montre le même phénomène avec la résistance volumique. Les échantillons aux parois les plus fines montrent une plus grande variation de la résistance électrique que ceux aux parois plus épaisses. L'augmentation anormale sur les échantillons 0,1 po ZX était due à la moyenne de l'un des cinq dispositifs qui était supérieure de deux ordres de grandeur. Ce dispositif aux résultats aberrants a eu un effet significatif sur les valeurs moyennes en raison de la nature exponentielle des mesures.

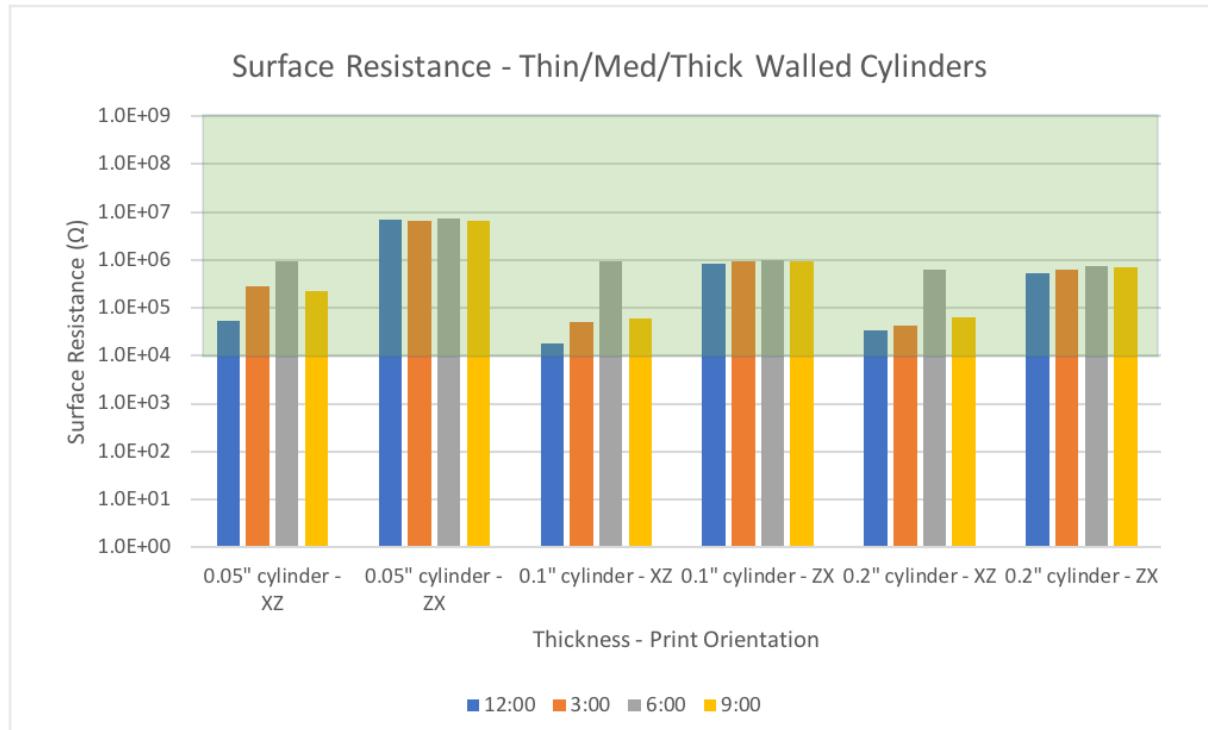


Figure 9. Résistance superficielle des cylindres creux en fonction de l'épaisseur des parois et de l'orientation de fabrication.

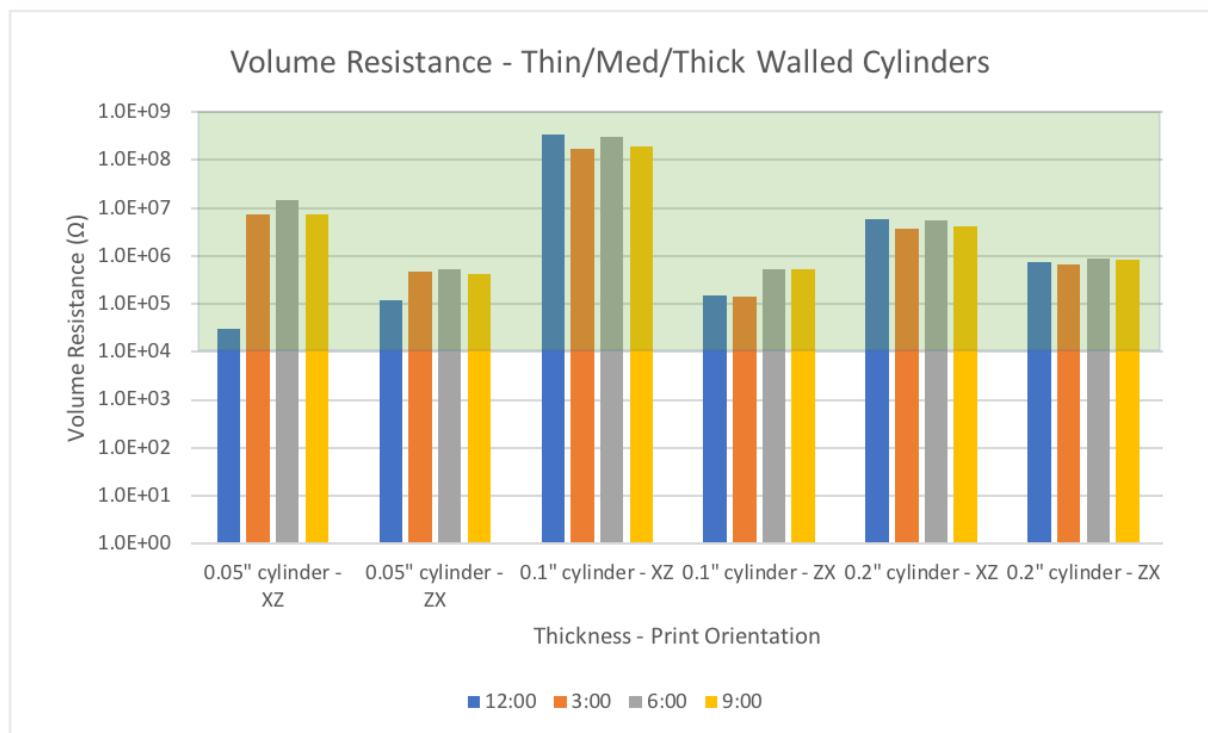


Figure 10. Résistance volumique des cylindres creux en fonction de l'épaisseur des parois et de l'orientation de fabrication.

# Propriétés électriques d'Antero 840CN03

## Résultats avec la méthode de la peinture à l'argent :

Des échantillons supplémentaires ont été envoyés à un laboratoire externe indépendant pour déterminer les valeurs de résistivité avec d'autres équipements et méthodes possibles.

Conformément aux spécifications de la norme ASTM D4496, le laboratoire externe a préparé les échantillons avec des électrodes peintes à l'argent et testé les éprouvettes avec un multimètre.

Les résultats de ces tests ont montré des valeurs de résistivité inférieures à celles obtenues avec l'ohmmètre PRS.

Une réduction de la résistivité a également été observée en appliquant de la peinture à l'argent sur la surface des éprouvettes et en les testant avec la sonde PRS.

La conclusion de ces résultats est que la résistance de contact entre les sondes de plusieurs équipements et méthodes de test joue un rôle significatif sur la mesure de résistance/résistivité de la pièce.

	Résistivité superficielle (ohms/carré)	Résistivité volumique (Ohms-cm)
<b>ASTM D4496 - Électrodes peintes à l'argent - Échantillons 1 x 4 x 0,1 po - Laboratoire externe</b>		
<b>Sur le bord (XZ)</b>	1,6E+03	4,0E+02
<b>À plat (XY)</b>	6,9E+03	1,8E+03
<b>Debout (ZX)</b>	>E7	>E7
<b>ASTM D4496 - Électrodes peintes à l'argent - Échantillons 1 x 4 x 0,1 po - Laboratoire Stratasys</b>		
<b>Sur le bord (XZ)</b>	3,3E+03	2,5E+02
<b>À plat (XY)</b>	1,5E+04	7,9E+02
<b>Debout (ZX)</b>	>E7	>E7
<b>ASTM D257 - Ohmmètre PRS - Échantillons 1 x 4 x 0,1 po - Sans peinture</b>		
<b>Sur le bord (XZ)</b>	5,6E+05	6,2E+06
<b>À plat (XY)</b>	1,3E+06	1,5E+07
<b>Debout (ZX)</b>	4,6E+07	1,2E+07
<b>ASTM D257 - Ohmmètre PRS - Échantillons 1 x 4 x 0,1 po - Peinture Ag</b>		
<b>Sur le bord (XZ)</b>	5,6E+03	4,2E+05
<b>À plat (XY)</b>	1,8E+04	1,2E+06
<b>Debout (ZX)</b>	4,1E+05	9,6E+05

**Tableau 2 :** comparaison entre les méthodes de test montrant une variation entre électrodes peintes et multimètre d'une part, et sonde à anneaux concentriques d'autre part.

Remarque : le multimètre a une limite E7.

# Propriétés électriques d'Antero 840CN03

## Conclusion :

Pour l'Antero 840CN03, la résistance électrique ne varie pas de façon significative avec la hauteur du plateau de fabrication ou l'orientation des pièces, leur position dans l'imprimante ou encore leur épaisseur et leur trame. Même s'il existe une légère différence entre les faces avec ou sans support, les premières ayant une résistivité un peu plus élevée, globalement, la variation n'est pas significative et l'isotropie électrique des pièces imprimées persiste.

Les anomalies sur les cylindres à parois fines peuvent être atténuées par l'orientation de l'impression ou l'augmentation de l'épaisseur des parois. Les clients doivent être conscients que certaines géométries peuvent produire un phénomène indésirable de percolation électrique à travers les pièces, et que tous les cas ne peuvent pas être abordés dans ce document.

Les mesures des propriétés électriques peuvent varier en fonction des équipements et des méthodes de test utilisées. Les clients sont invités à définir la méthode de test et l'équipement appropriés en vue d'obtenir les résultats les mieux adaptés à leurs applications spécifiques réelles.

## Siège de Stratasys

7665 Commerce Way,  
Eden Prairie, MN 55344 États-Unis  
+1 952 937 3000 (international)  
+1 952 937 0070 (Fax)

1 Holtzman St., Science Park, PO Box 2496  
Rehovot 76124, Israël  
+972 74 745 4000  
+972 74 745 5000 (Fax)

[stratasys.com](http://stratasys.com)  
Certification ISO 9001:2008

Stratasys GmbH  
Airport Boulevard B120  
77836 Rheinmünster, Allemagne  
+49 7229 7772-0  
+49 7229 7772-990 (Fax)

