

Résistance des matériaux SAF™ aux produits chimiques de l'automobile

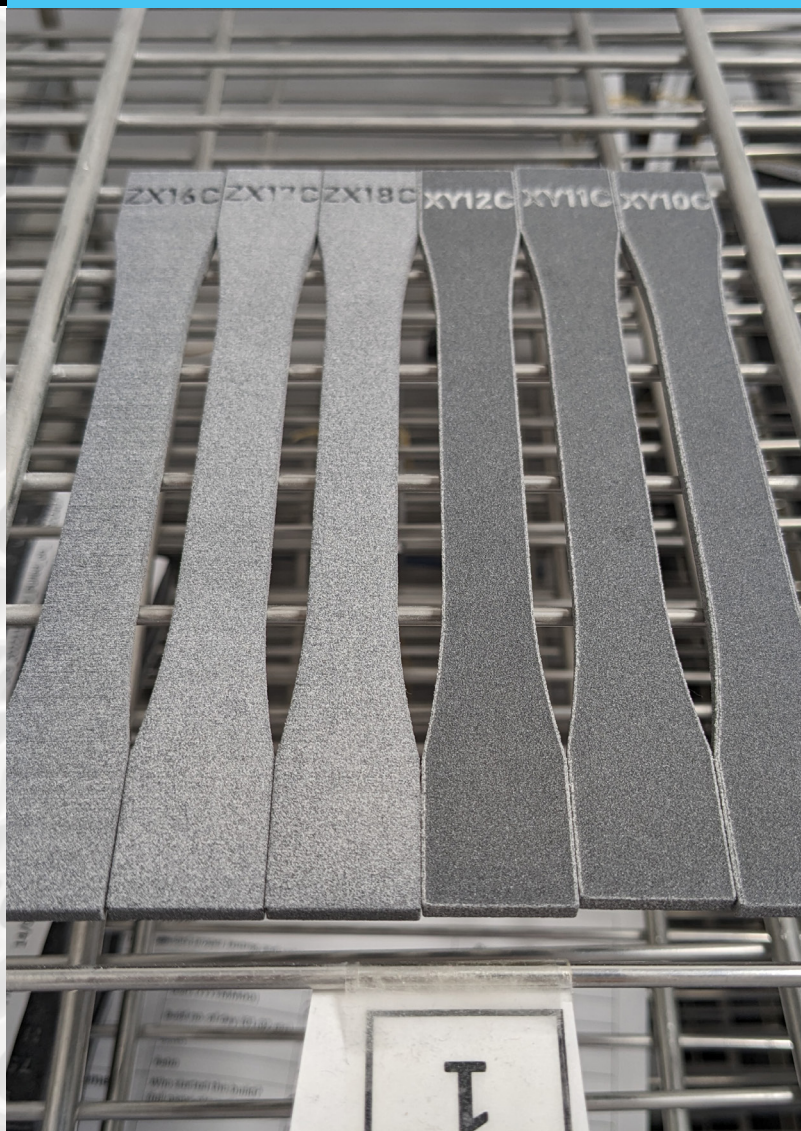
Les résultats obtenus sont présentés dans ce livre blanc.

Introduction

L'objectif du présent document est de fournir aux clients un aperçu des performances des produits à haut rendement PA11, SAF PA12 et SAF PP de Stratasys® lorsqu'ils sont exposés à des produits chimiques courants utilisés dans l'industrie automobile.

Les réactifs testés ont été les suivants :

- Acide de batteries
- Antigel
- Huile moteur synthétique
- Graisse de silicone
- Graisse de pétrole
- Lave-glace
- Eau distillée
- Essence
- Gazole





Méthodologie

L'expérience a été menée conformément à la norme ASTM D543, qui définit un protocole standard d'évaluation de la résistance des plastiques aux réactifs chimiques.

Les spécimens ont été créés à l'aide d'imprimantes 3D Stratasys H350™ SAF™, avec des orientations d'impression verticales (ZX) et horizontales (XY) testées. Les éprouvettes soumises au test étaient de deux types :

- Barres de traction ASTM D638 Type 1, pour évaluer les modifications des propriétés mécaniques
- Disques de 50,80 mm x 3,175 mm pour l'évaluation des variations de dimensions et de poids

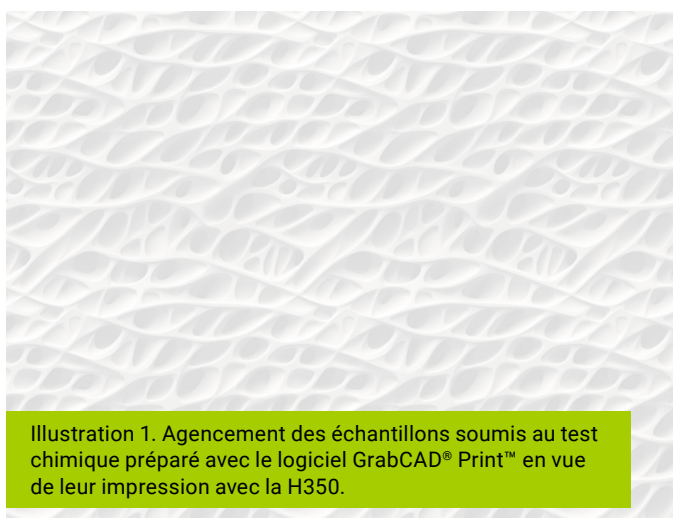
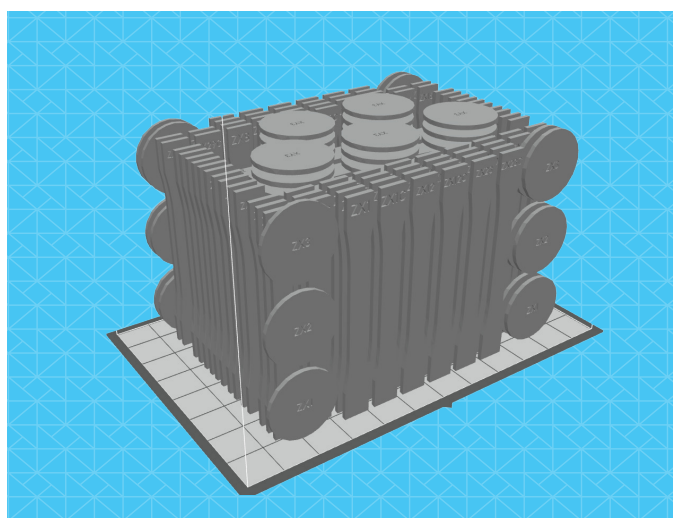


Illustration 1. Agencement des échantillons soumis au test chimique préparé avec le logiciel GrabCAD® Print™ en vue de leur impression avec la H350.



Pour chaque expérience, tous les échantillons ont été préconditionnés à 23 °C et 50 % d'humidité relative pendant au moins 40 heures avant le contact avec le réactif. Les échantillons de contrôle sont restés sur les portoirs de préconditionnement pendant toute la durée de l'expérience (Illustration 2), tandis que les échantillons de test ont été immergés dans un bain de réactif de 4 litres pendant 168 heures (1 semaine).

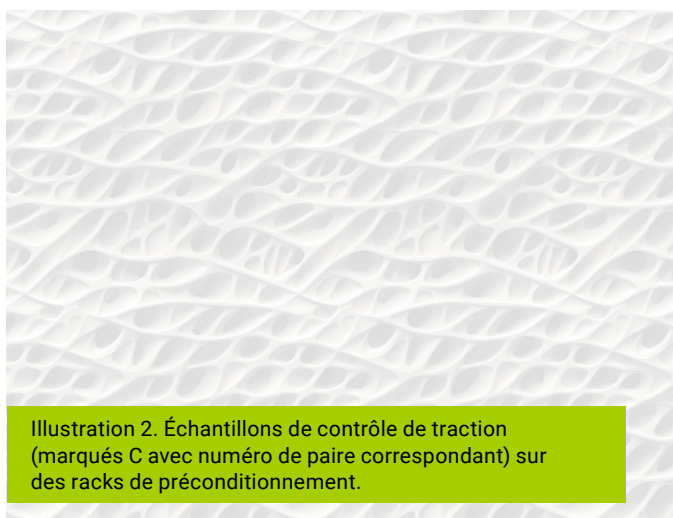
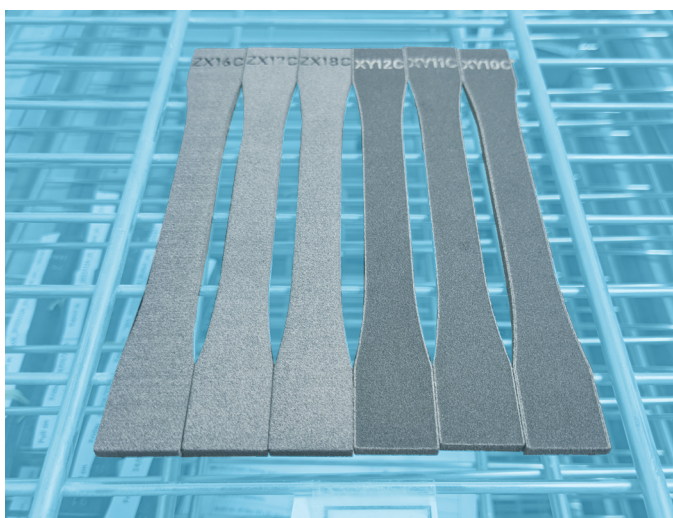


Illustration 2. Échantillons de contrôle de traction (marqués C avec numéro de paire correspondant) sur des racks de préconditionnement.



Des cadres ont été fabriqués en acier inoxydable et en fil de nichrome pour maintenir les éprouvettes en place sans qu'elles ne touchent les parois du récipient ou n'entrent en contact les unes avec les autres pendant l'immersion dans le réactif (Illustration 3).

Un barreau magnétique a également été placé à l'intérieur du récipient d'expérience, puis celui-ci a été fermé de façon étanche. Il a permis d'agiter le réactif pendant 30 minutes sur 6 intervalles de 24 heures avant le retrait des pièces, au bout de 168 heures. L'emploi d'un agitateur magnétique à temporisateur numérique (Illustration 4) a permis d'assurer une durée d'agitation constante dans toutes les expériences.



Illustration 3. Pièces de test maintenues sur des cadres en acier tandis qu'elles sont immergées dans le réactif.

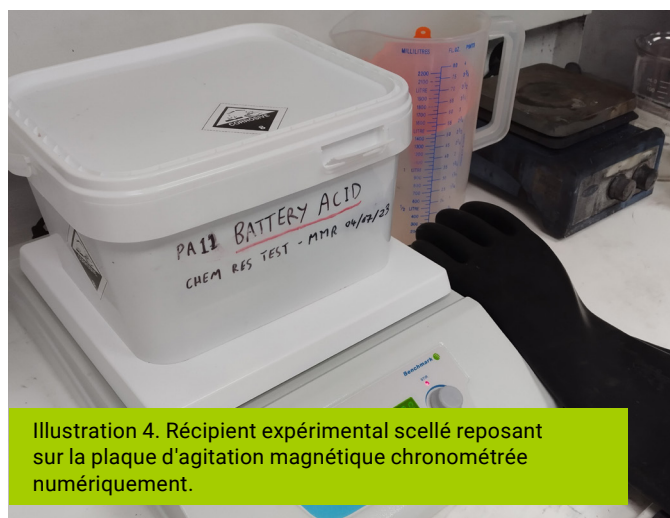


Illustration 4. Récipient expérimental scellé reposant sur la plaque d'agitation magnétique chronométrée numériquement.

La méthode décrite précédemment ne serait pas pratique pour les graisses de silicone et de pétrole. C'est pourquoi la solution retenue a été de pulvériser une couche épaisse de réactif au début de chaque test, suivie d'une nouvelle application en couche fine toutes les 24 heures. L'uniformité du recouvrement des pièces a été vérifiée à l'œil nu à chaque application.

Éprouvettes soumises au test de résistance à la tension

Les tests de résistance à la tension ont été réalisés sur un banc d'essai universel Tinius Olsen 10ST (Illustration 5), conformément à la norme ASTM D638, dans les 30 minutes suivant le retrait des éprouvettes du bain de réactif.

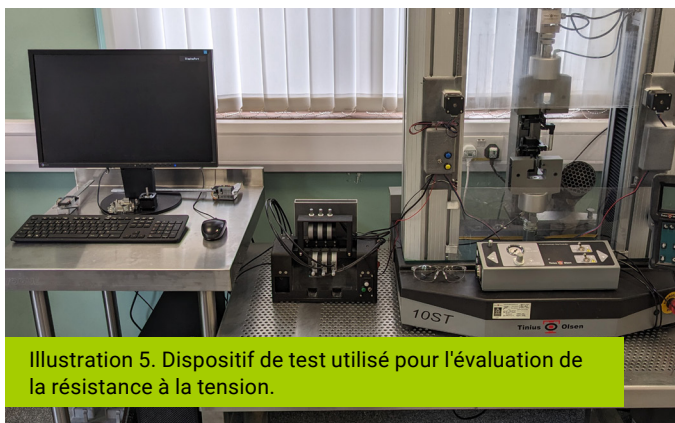


Illustration 5. Dispositif de test utilisé pour l'évaluation de la résistance à la tension.

Au total, 12 échantillons ont été testés par réactif. Six d'entre eux ont été plongés dans le réactif, tandis que six autres, prélevés sur le même lot de fabrication, ont servi de témoins pour le test. Les pièces témoins ont été imprimées à côté des pièces de test correspondantes.

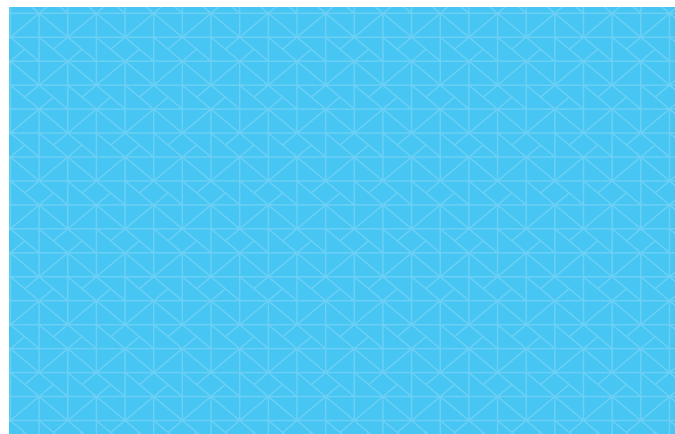


Disques soumis aux tests de poids et de dimensions

Ces tests ont comparé le poids et les dimensions des éprouvettes en forme de disque avant et après leur immersion (Illustration 6). Le poids a été mesuré à l'aide d'une balance analytique A&D HR-100AZ. L'épaisseur et le diamètre ont été mesurés manuellement à l'aide d'un micromètre et d'un pied à coulisse numérique, respectivement. Pour chaque réactif, le poids et les dimensions ont été testés sur un total de six pièces.



Illustration 6. Échantillons en PA12 destinés à un test de poids et de dimensions après immersion dans de l'acide de batteries.

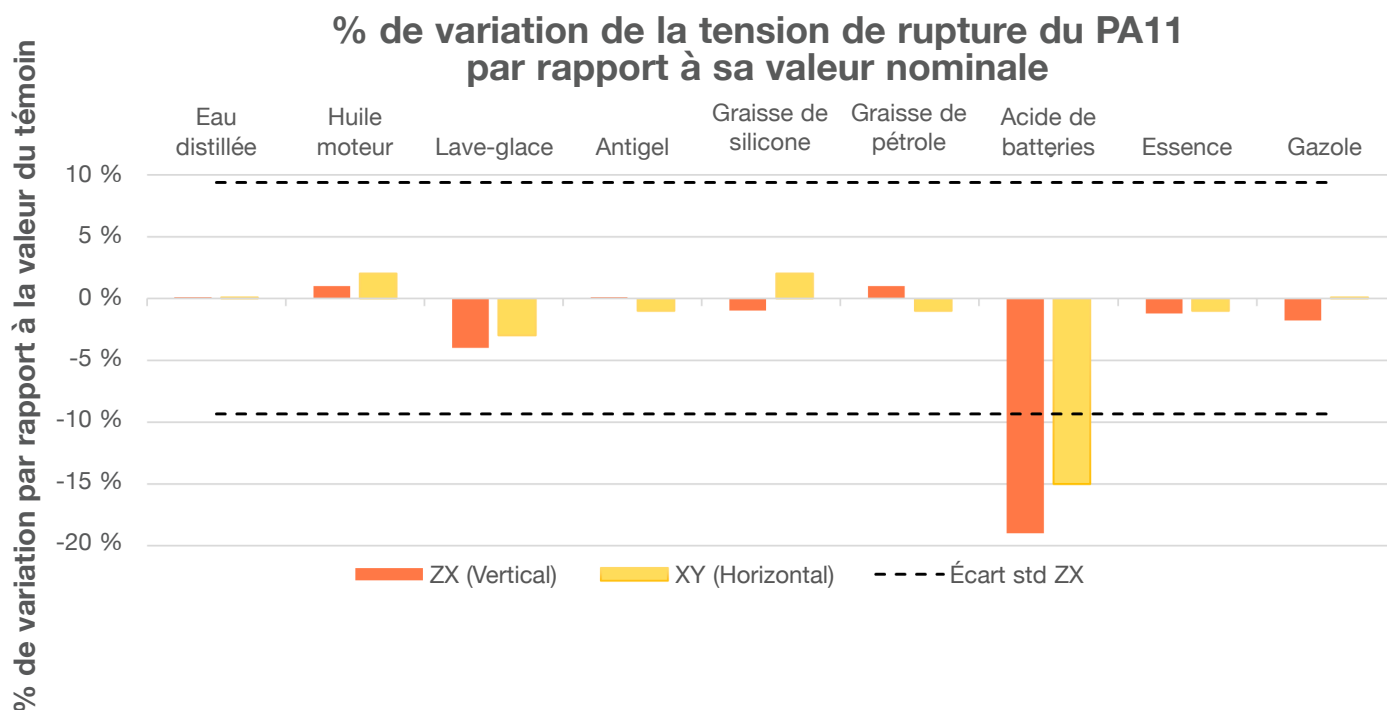


Tous les disques pour les tests de poids et de dimensions sont restés pendant 168 heures supplémentaires sur des présentoirs de préconditionnement après leur retrait du bain de réactif ; ils ont ensuite été pesés à nouveau pour évaluer la façon dont les pièces sèchent après avoir été en contact avec ces produits chimiques.

Graphiques des % de variation par orientation

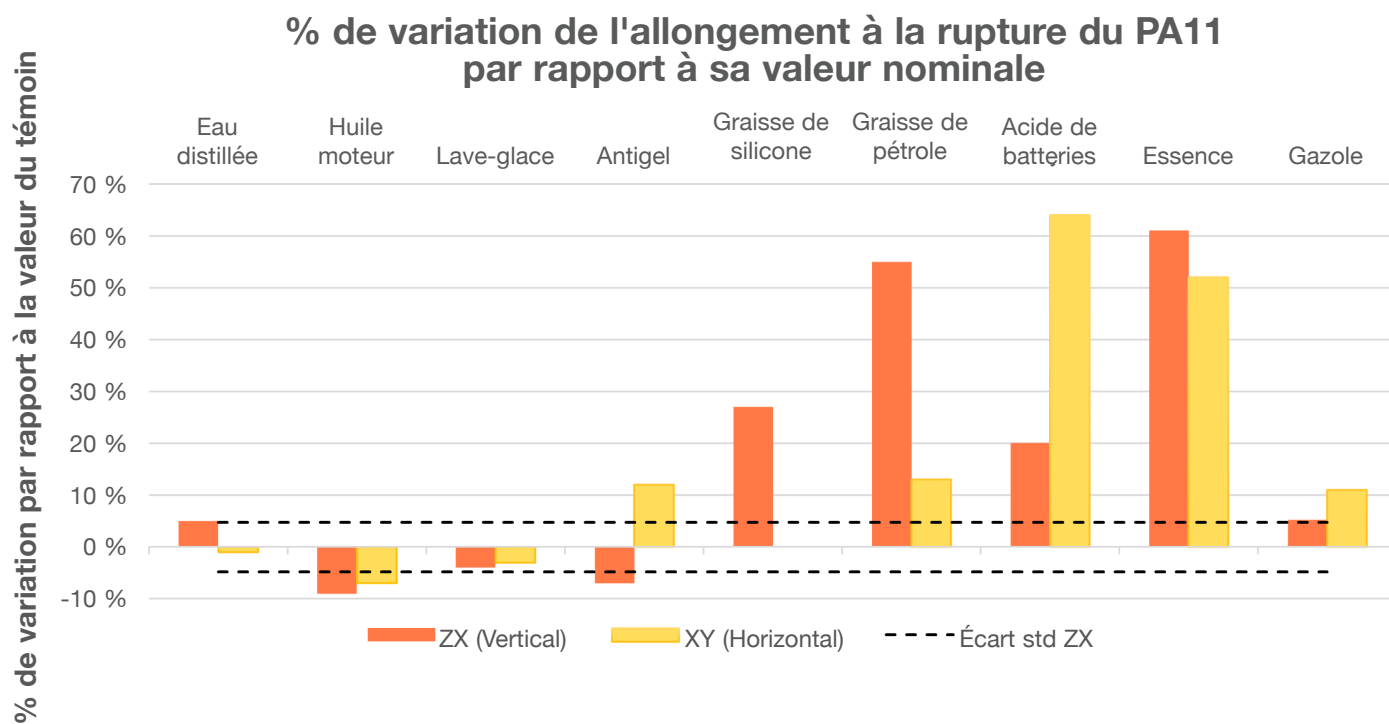
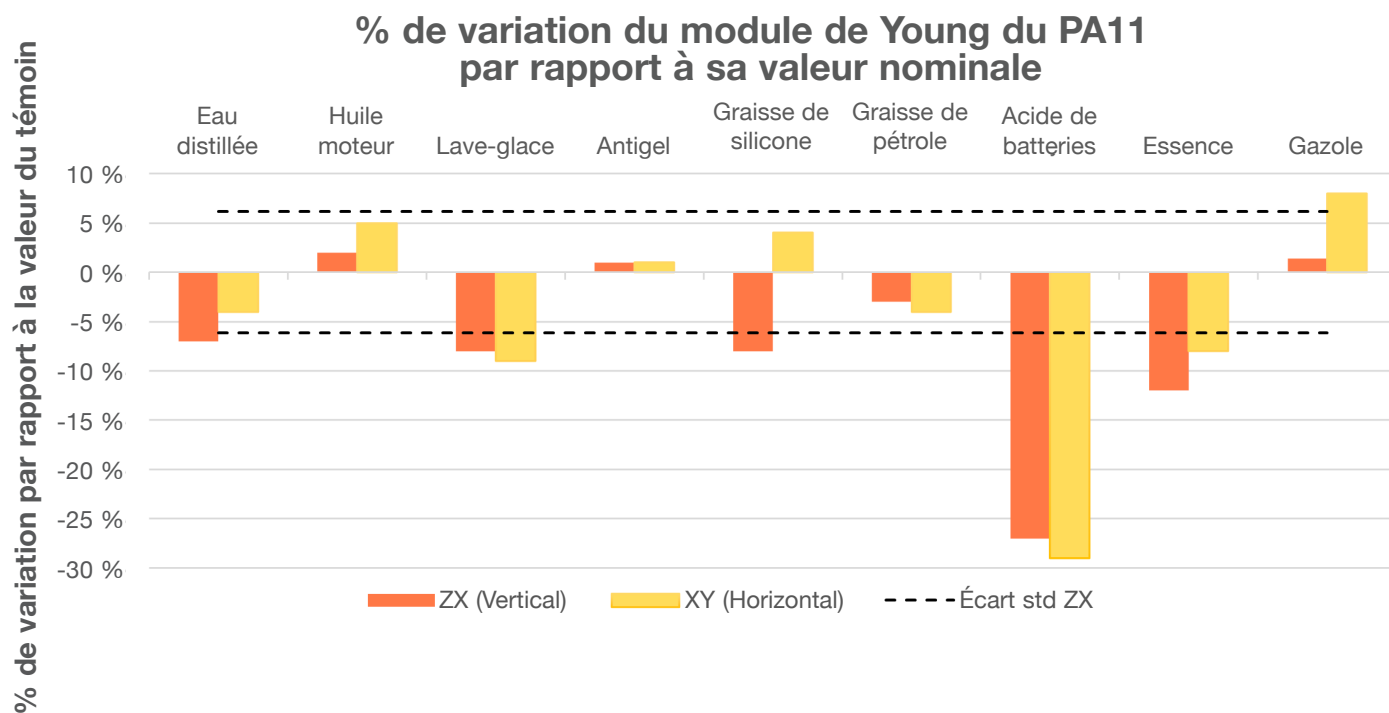
Résultats correspondant au PA11

En tant que matériau préféré de StratasyS, les valeurs d'écart type sont disponibles dans notre fiche technique PA11 à haut rendement. Ces valeurs sont indiquées par les lignes pointillées noires.





Résultats PA11 (suite)

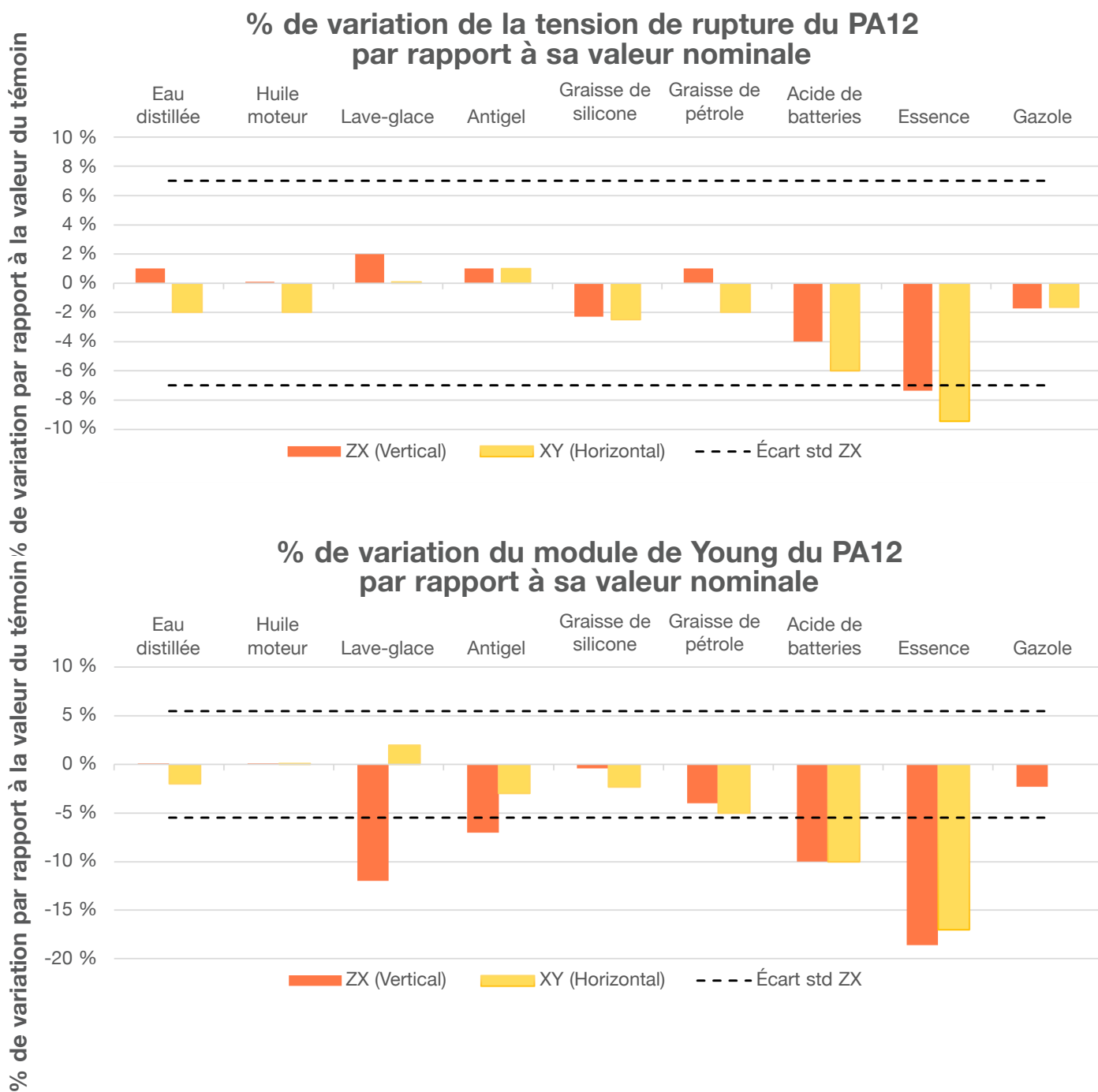




Graphiques des % de variation par orientation

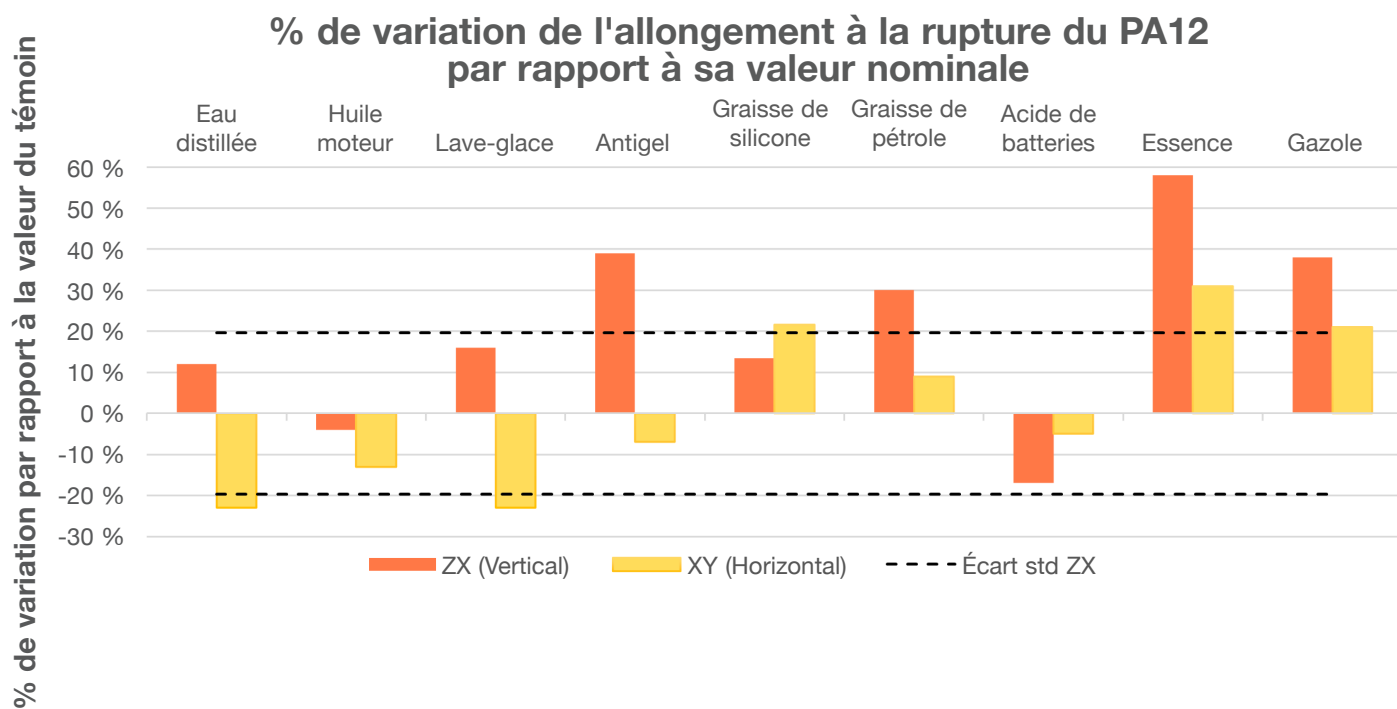
Résultats correspondant au PA12

Les valeurs indicatives de l'écart type sont fournies sur les graphiques par les lignes pointillées noires.





Résultats PA12 (suite)



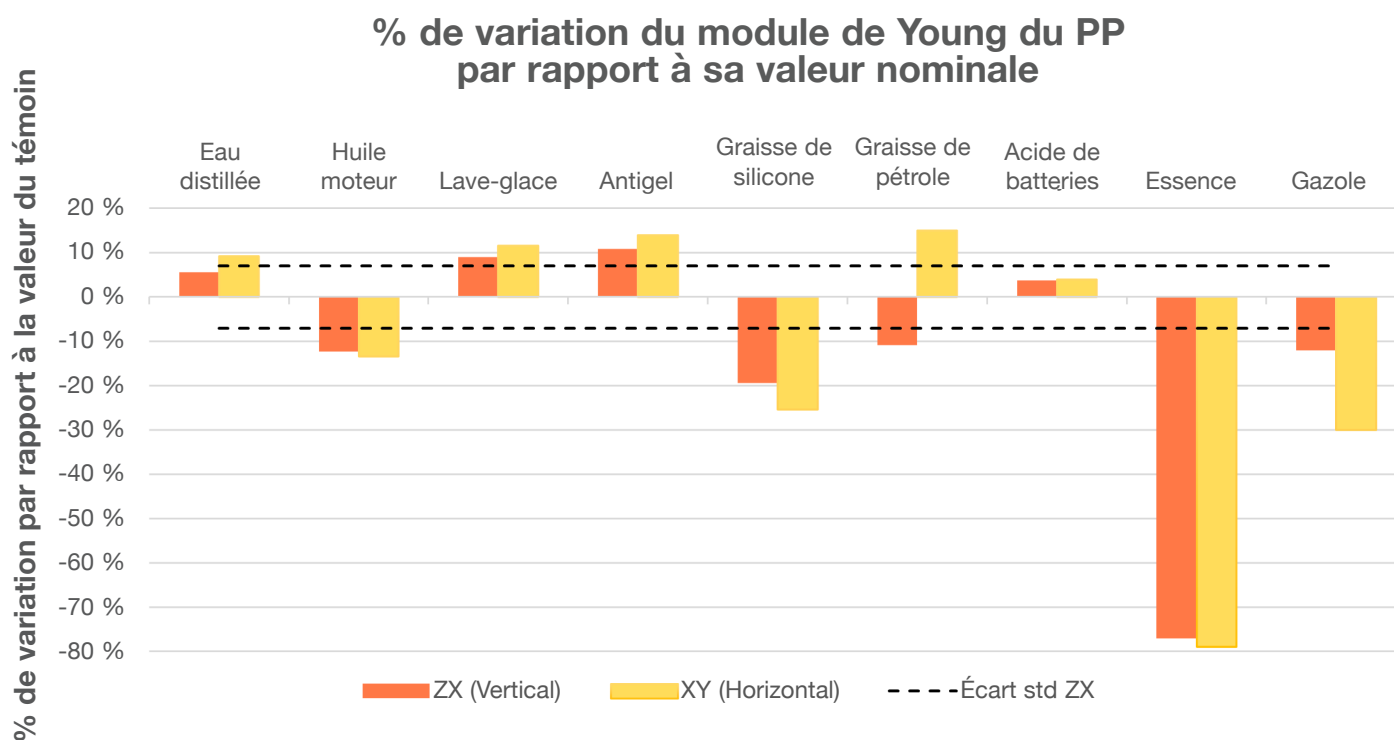
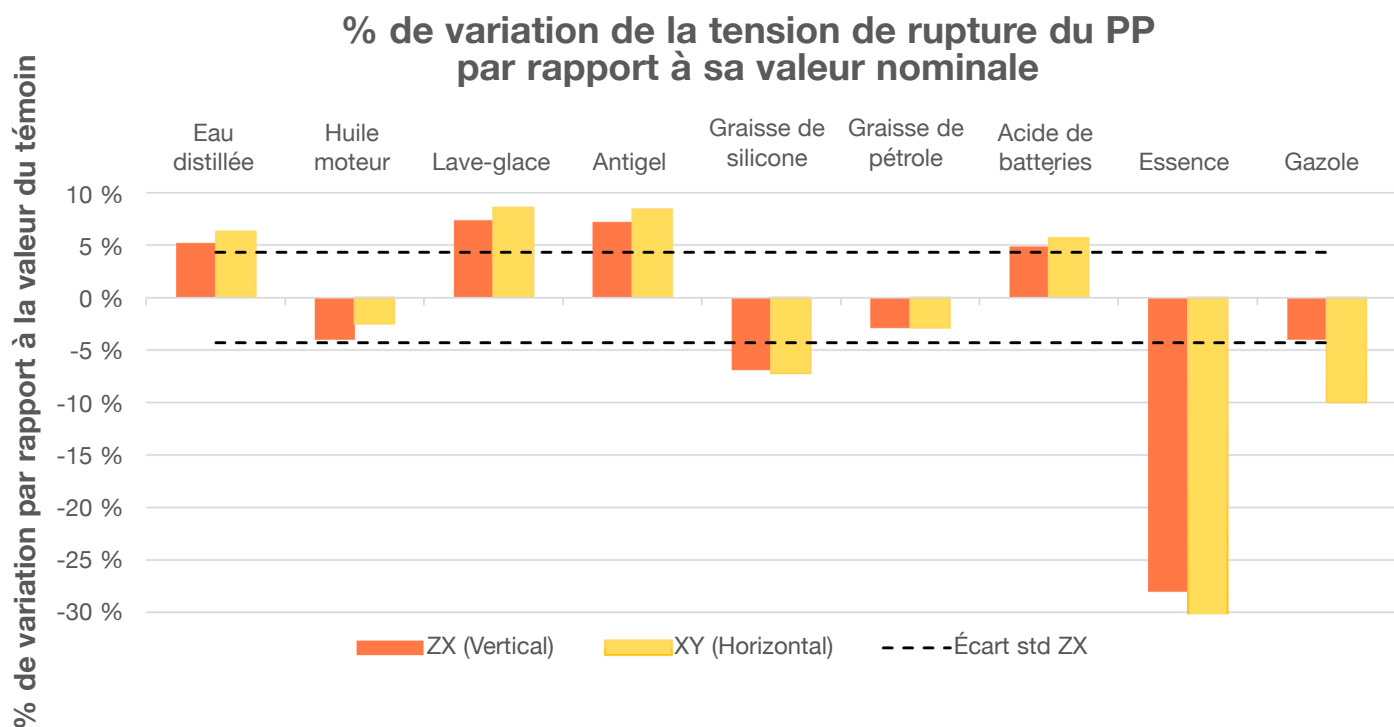


Graphiques des % de variation par orientation

Résultats PP

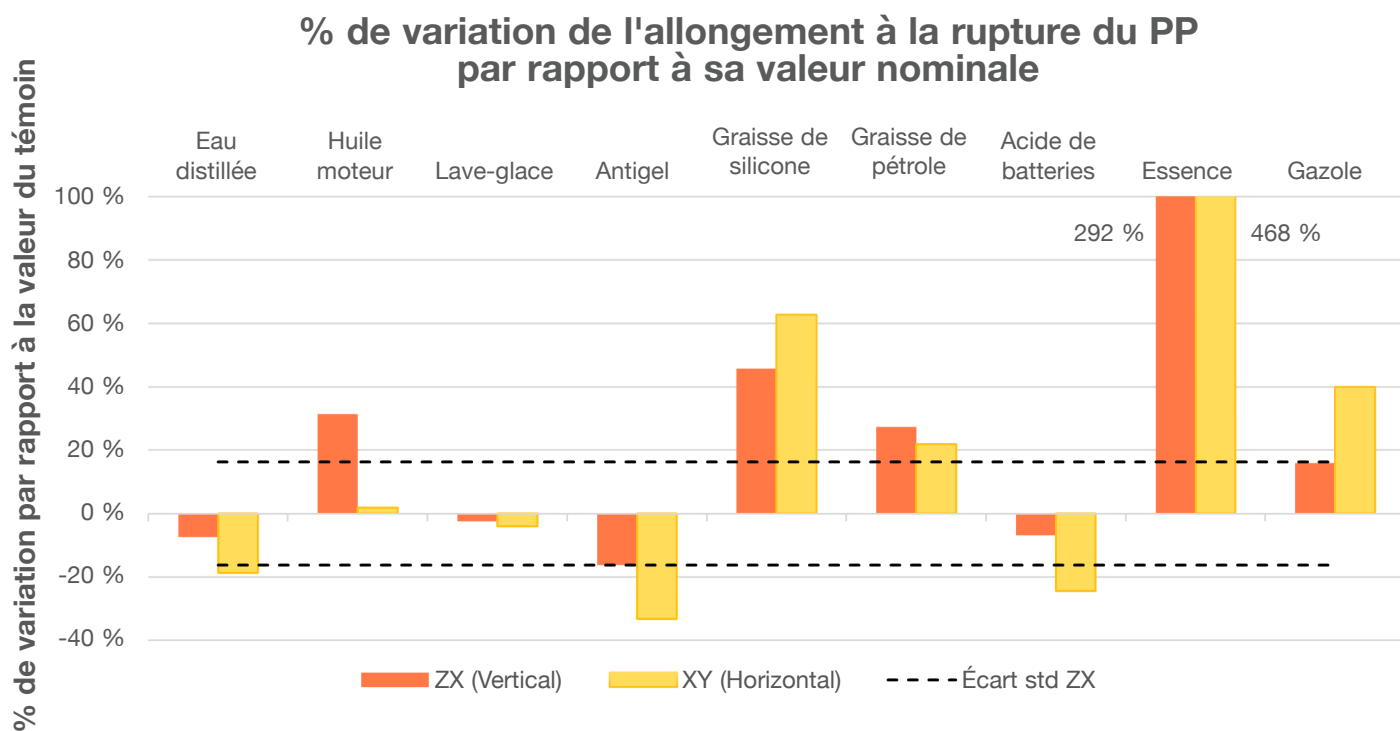
Les valeurs d'écart type de ce matériau, l'un des préférés de Stratasys, sont disponibles dans notre fiche technique consacrée au SAF PP.

Ces valeurs sont indiquées par les lignes pointillées noires.





Résultats PP (suite)





Tableaux des résultats finaux

PA11 Modification des propriétés mécaniques - Exposition de 168 heures (ASTM D543)

	Réactif	% variation ZX	% variation XY
Tension de rupture (MPa)	Eau distillée	0 %	0 %
	Huile moteur (synth)	+1 %	+2 %
	Lave-glace	-4 %	-3 %
	Antigel	0 %	-1 %
	Graisse de silicone	-1 %	+2 %
	Graisse à base de pétrole	+1 %	-1 %
	Acide de batteries	-19 %	-15 %
	Essence	-1 %	-1 %
	Gazole	-2 %	0 %
Module (MPa)	Eau distillée	-7 %	-4 %
	Huile moteur (synth)	+2 %	+5 %
	Lave-glace	-8 %	-9 %
	Antigel	+1 %	+1 %
	Graisse de silicone	-8 %	+4 %
	Graisse à base de pétrole	-3 %	-4 %
	Acide de batteries	-27 %	-29 %
	Essence	-12 %	-8 %
	Gazole	+1 %	+8 %
Allongement à la rupture (%)	Eau distillée	+5 %	-1 %
	Huile moteur (synth)	-9 %	-7 %
	Lave-glace	-4 %	-3 %
	Antigel	-7 %	+12 %
	Graisse de silicone	+27 %	0 %
	Graisse à base de pétrole	+55 %	+13 %
	Acide de batteries	+20 %	+64 %
	Essence	+61 %	+52 %
	Gazole	+5 %	+11 %

Valeurs de référence du PA11 à haut rendement

Orientation	Valeur moyenne
Résistance à la tension (ZX)	47 MPa
Résistance à la tension (XZ, YX)	51 MPa
Allongement à la rupture (ZX)	11 %
Allongement à la rupture (XZ, YX)	30 %
Module d'élasticité à la tension (ZX)	1 609 MPa
Module d'élasticité à la tension (XZ, YX)	1 529 MPa



Tableaux des résultats finaux

Variation des propriétés mécaniques du PA12 - Exposition pendant 168 heures (ASTM D543)

	Réactif	% variation ZX	% variation XY
Tension de rupture (MPa)	Eau distillée	+1 %	-2 %
	Huile moteur (synth)	0 %	-2 %
	Lave-glace	+2 %	0 %
	Antigel	+1 %	+1 %
	Graisse de silicone	-2 %	-3 %
	Graisse à base de pétrole	+1 %	-2 %
	Acide de batteries	-4 %	-6 %
	Essence	-7 %	-9 %
	Gazole	-2 %	-2 %
Module (MPa)	Eau distillée	0 %	-2 %
	Huile moteur (synth)	0 %	0 %
	Lave-glace	-1 %	+2 %
	Antigel	-7 %	-3 %
	Graisse de silicone	0 %	-2 %
	Graisse à base de pétrole	-4 %	-5 %
	Acide de batteries	-10 %	-10 %
	Essence	-19 %	-17 %
	Gazole	-2 %	0 %
Allongement à la rupture (%)	Eau distillée	+12 %	-23 %
	Huile moteur (synth)	-4 %	-13 %
	Lave-glace	+16 %	-23 %
	Antigel	+39 %	-7 %
	Graisse de silicone	+14 %	+22 %
	Graisse à base de pétrole	+30 %	+9 %
	Acide de batteries	-17 %	-5 %
	Essence	+58 %	+31 %
	Gazole	+38 %	+21 %

Valeurs de référence du SAF PA12

Orientation	Valeur moyenne
Résistance à la tension (ZX)	46 MPa
Résistance à la tension (XZ, YX)	47 MPa
Allongement à la rupture (ZX)	5 %
Allongement à la rupture (XZ, YX)	11 %
Module d'élasticité à la tension (ZX)	1 700 MPa
Module d'élasticité à la tension (XZ, YX)	1 750 MPa

Remarque : Les petites valeurs d'allongement sont dues à la rigidité du PA12, qui rend ce test plus sensible au bruit, et peut entraîner des pourcentages de variation importants sur des échantillons de taille aussi limitée.



Tableaux des résultats finaux

Modification des propriétés mécaniques du PP - Exposition de 168 heures (ASTM D543)

	Réactif	% variation ZX	% variation XY
Tension de rupture (MPa)	Eau distillée	+5 %	+6 %
	Huile moteur (synth)	-4 %	-3 %
	Lave-glace	+7 %	+9 %
	Antigel	+7 %	+8 %
	Graisse de silicone	-7 %	-7 %
	Graisse à base de pétrole	-3 %	-3 %
	Acide de batteries	+5 %	+6 %
	Essence	-28 %	-36 %
	Gazole	-4 %	-10 %
Module (MPa)	Eau distillée	+6 %	+9 %
	Huile moteur (synth)	-12 %	-13 %
	Lave-glace	+9 %	+12 %
	Antigel	+11 %	+14 %
	Graisse de silicone	-19 %	-25 %
	Graisse à base de pétrole	-11 %	+15 %
	Acide de batteries	+4 %	+4 %
	Essence	-77 %	-79 %
	Gazole	-12 %	-30 %
Allongement à la rupture (%)	Eau distillée	-8 %	-19 %
	Huile moteur (synth)	+31 %	+2 %
	Lave-glace	-2 %	-4 %
	Antigel	-16 %	-33 %
	Graisse de silicone	+46 %	+63 %
	Graisse à base de pétrole	+27 %	+22 %
	Acide de batteries	-7 %	-25 %
	Essence	+292 %	+468 %
	Gazole	+16 %	+40 %

Valeurs de référence SAF PP

Orientation	Valeur moyenne
Résistance à la tension (ZX)	25,8 MPa
Résistance à la tension (XZ, YX)	25,8 MPa
Allongement à la rupture (ZX)	10,7 %
Allongement à la rupture (XZ, YX)	22,5 %
Module d'élasticité à la tension (ZX)	1 212 MPa
Module d'élasticité à la tension (XZ, YX)	1 260 MPa



Tableaux des résultats finaux

Variation des dimensions et du poids du PA11 - Exposition pendant 168 heures (ASTM D453)

	Réactif	% variation ZX	% variation XY
Diamètre	Eau distillée	0,0 %	0,0 %
	Huile moteur (synth)	0,0 %	0,0 %
	Lave-glace	0,0 %	0,0 %
	Antigel	0,1 %	-0,1 %
	Graisse de silicone	0,0 %	0,0 %
	Graisse à base de pétrole	0,0 %	0,0 %
	Acide de batteries	0,4 %	0,4 %
	Essence	0,1 %	0,3 %
	Gazole	0,1 %	0,0 %
Épaisseur	Eau distillée	0,2 %	0,7 %
	Huile moteur (synth)	0,0 %	-0,5 %
	Lave-glace	0,2 %	1,0 %
	Antigel	0,0 %	0,1 %
	Graisse de silicone	-0,4 %	-0,2 %
	Graisse à base de pétrole	0,1 %	0,3 %
	Acide de batteries	7,0 %	6,6 %
	Essence	0,6 %	0,5 %
	Gazole	-0,7 %	0,0 %
Poids	Eau distillée	1,0 %	0,6 %
	Huile moteur (synth)	1,0 %	0,4 %
	Lave-glace	0,3 %	0,3 %
	Antigel	0,9 %	0,4 %
	Graisse de silicone	1,0 %	0,6 %
	Graisse à base de pétrole	1,8 %	1,0 %
	Acide de batteries	13,3 %	13,0 %
	Essence	1,2 %	1,2 %
	Gazole	0,5 %	0,2 %
Poids (après 168 heures de séchage)	Eau distillée	0,2 %	0,2 %
	Huile moteur (synth)	1,0 %	0,5 %
	Lave-glace	0,3 %	0,4 %
	Antigel	0,2 %	0,2 %
	Graisse de silicone	0,2 %	0,2 %
	Graisse à base de pétrole	1,6 %	0,9 %
	Acide de batteries	11,5 %	10,9 %
	Essence	0,6 %	0,7 %
	Gazole	0,2 %	0,1 %



Tableaux des résultats finaux

Variation des dimensions et du poids du PA12 - Exposition pendant 168 heures (ASTM D453)

	Réactif	% variation ZX	% variation XY
Diamètre	Eau distillée	0,1 %	0,1 %
	Huile moteur (synth)	0,0 %	0,0 %
	Lave-glace	0,0 %	0,0 %
	Antigel	0,0 %	0,0 %
	Graisse de silicone	0,0 %	0,0 %
	Graisse à base de pétrole	0,0 %	0,0 %
	Acide de batteries	0,1 %	0,1 %
	Essence	0,3 %	0,2 %
	Gazole	0,1 %	0,0 %
Épaisseur	Eau distillée	0,1 %	0,1 %
	Huile moteur (synth)	-0,4 %	-0,1 %
	Lave-glace	-0,1 %	0,0 %
	Antigel	-0,4 %	0,1 %
	Graisse de silicone	0,1 %	0,2 %
	Graisse à base de pétrole	2,4 %	0,6 %
	Acide de batteries	1,1 %	1,3 %
	Essence	0,6 %	0,4 %
	Gazole	0,0 %	-0,3 %
Poids	Eau distillée	-2,1 %	-1,0 %
	Huile moteur (synth)	1,0 %	0,7 %
	Lave-glace	0,7 %	0,5 %
	Antigel	1,4 %	1,1 %
	Graisse de silicone	1,0 %	0,5 %
	Graisse à base de pétrole	1,8 %	1,2 %
	Acide de batteries	3,9 %	3,8 %
	Essence	1,2 %	1,2 %
	Gazole	0,7 %	0,6 %
Poids (après 168 heures de séchage)	Eau distillée	2,3 %	-2,1 %
	Huile moteur (synth)	1,3 %	1,0 %
	Lave-glace	0,4 %	0,4 %
	Antigel	0,2 %	1,5 %
	Graisse de silicone	0,3 %	0,6 %
	Graisse à base de pétrole	1,8 %	1,3 %
	Acide de batteries	3,0 %	3,2 %
	Essence	0,5 %	0,6 %
	Gazole	0,6 %	0,5 %



Tableaux des résultats finaux

Modification des dimensions et du poids du PP - Exposition de 168 heures (ASTM D453)

	Réactif	% variation ZX	% variation XY
Diamètre	Eau distillée	0,0 %	0,0 %
	Huile moteur (synth)	0,0 %	0,0 %
	Lave-glace	-0,6 %	0,0 %
	Antigel	-0,1 %	-0,1 %
	Graisse de silicone	0,3 %	0,4 %
	Graisse à base de pétrole	0,1 %	0,1 %
	Acide de batteries	0,0 %	-0,1 %
	Essence	5,0 %	4,4 %
	Gazole	0,3 %	0,3 %
Épaisseur	Eau distillée	0,6 %	0,0 %
	Huile moteur (synth)	0,0 %	-0,3 %
	Lave-glace	-0,1 %	-0,3 %
	Antigel	-0,1 %	-0,3 %
	Graisse de silicone	1,3 %	1,4 %
	Graisse à base de pétrole	0,4 %	0,5 %
	Acide de batteries	-0,2 %	-0,1 %
	Essence	4,1 %	5,5 %
	Gazole	1,1 %	0,2 %
Poids	Eau distillée	0,2 %	0,1 %
	Huile moteur (synth)	1,1 %	0,9 %
	Lave-glace	0,2 %	0,2 %
	Antigel	0,3 %	0,1 %
	Graisse de silicone	2,3 %	2,8 %
	Graisse à base de pétrole	2,6 %	1,9 %
	Acide de batteries	0,5 %	0,3 %
	Essence	15 %	15 %
	Gazole	1,4 %	1,3 %
Poids (après 168 heures de séchage)	Eau distillée	0,0 %	0,0 %
	Huile moteur (synth)	1,0 %	0,9 %
	Lave-glace	0,0 %	0,0 %
	Antigel	0,6 %	0,0 %
	Graisse de silicone	0,8 %	1,0 %
	Graisse à base de pétrole	2,04 %	1,6 %
	Acide de batteries	0,0 %	0,0 %
	Essence	3,7 %	3,6 %
	Gazole	0,7 %	0,7 %



Conclusions relatives au PA11

Réactif	Stabilité du poids et des dimensions	Stabilité mécanique
Eau distillée	Excellente	Excellente
Huile moteur synthétique	Excellente	Excellente
Lave-glace	Excellente	Excellente
Antigel	Excellente	Excellente
Graisse de silicone	Excellente	Excellente
Graisse de pétrole	Excellente	Excellente
Acide de batteries	Résistance limitée au produit chimique	Résistance limitée au produit chimique
Essence	Excellente	Excellente
Gazole	Excellente	Excellente

Le PA11 à haut rendement a démontré d'excellentes propriétés de résistance chimique à sept des neuf réactifs testés. Les effets de l'eau distillée, de l'huile moteur synthétique, du nettoyant pour vitres, du liquide de refroidissement antigel, de la graisse de silicone, de la graisse de pétrole et du gazole sur le matériau se sont révélés négligeables. L'acide de batteries a provoqué une diminution moyenne de 17 % de la résistance mécanique du matériau, suivie d'une augmentation de l'élasticité due à un ramollissement. L'immersion dans l'essence semble également avoir un effet plastifiant.

Bien que les variations dimensionnelles soient négligeables avec tous les réactifs, un gain de poids notable a été observé lorsque le PA11 est plongé dans l'acide de batteries. Une modification permanente de la couleur, du gris clair au bleu foncé, a également été observée (Illustration 7). Celle-ci ne s'est produite que sur ce test.

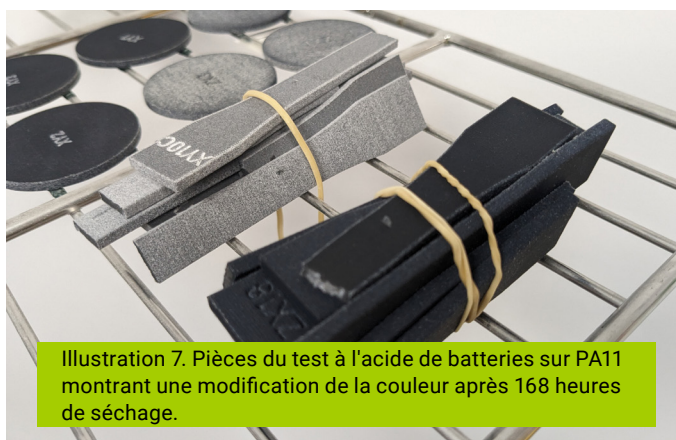
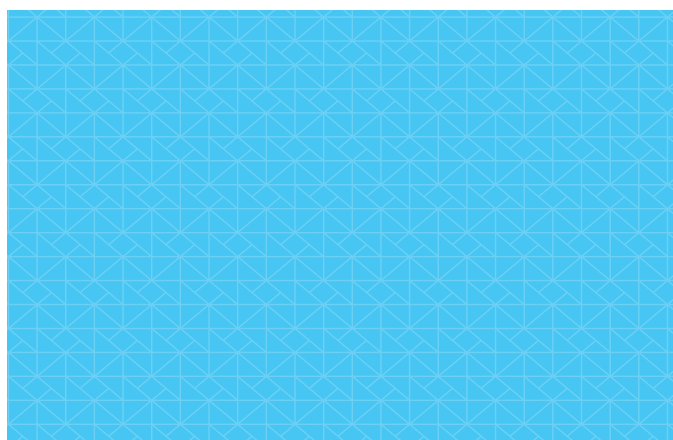


Illustration 7. Pièces du test à l'acide de batteries sur PA11 montrant une modification de la couleur après 168 heures de séchage.





Conclusions relatives au PA12

Réactif	Stabilité du poids et des dimensions	Stabilité mécanique
Eau distillée	Excellente	Excellente
Huile moteur synthétique	Excellente	Excellente
Lave-glace	Excellente	Excellente
Antigel	Excellente	Excellente
Graisse de silicone	Excellente	Excellente
Graisse de pétrole	Excellente	Excellente
Acide de batteries	Bonne résistance chimique	Bonne résistance chimique
Essence	Excellente	Bonne résistance chimique
Gazole	Excellente	Excellente

Le SAF PA12 présente d'excellentes propriétés de résistance chimique à sept des neuf réactifs. Les effets de l'eau distillée, de l'huile moteur synthétique, du lave-glace, du liquide de refroidissement antigel, de la graisse de silicone, de la graisse de pétrole et du gazole se sont révélés insignifiants.

Exposé à l'acide de batteries, le PA12 n'a présenté qu'une légère réduction de la résistance des pièces ainsi qu'une légère diminution de l'élasticité. L'immersion dans l'essence a également montré une légère réduction similaire des propriétés mécaniques.

Au cours de ce test, toutes les variations dimensionnelles ont été négligeables. Ce matériau a également montré une légère augmentation de poids lorsqu'il est exposé à l'acide pour batteries, mais ses performances sont meilleures que celles du PA11 à cet égard.



Conclusions du PP

Réactif	Stabilité du poids et des dimensions	Stabilité mécanique
Eau distillée	Excellente	Excellente
Huile moteur synthétique	Excellente	Excellente
Lave-glace	Excellente	Excellente
Antigel	Excellente	Excellente
Graisse de silicone	Bonne résistance chimique	Bonne résistance chimique
Graisse de pétrole	Excellente	Excellente
Acide de batteries	Excellente	Excellente
Essence	Résistance limitée au produit chimique	Résistance limitée au produit chimique
Gazole	Excellente	Excellente

Le SAF PP a démontré d'excellentes propriétés de résistance chimique à sept des neuf réactifs. Les effets de l'eau distillée, de l'huile moteur, du lave-glace, de l'antigel, de la graisse de pétrole, de l'acide de batteries et du gazole se sont révélés négligeables. Comme prévu, l'essence a considérablement dégradé les propriétés mécaniques de ce matériau. Les résultats suggèrent un fort effet plastifiant.

Le matériau a fait preuve d'une résistance exceptionnelle à l'acide de batteries (acide sulfurique concentré), ce qui confirme qu'il est actuellement le matériau SAF le mieux adapté aux applications acides.



stratasys.com/fr
Certification ISO
9001:2015

Sièges de Stratasys
7665 Commerce Way,
Eden Prairie, MN 55344
+1 800 801 6491 (numéro gratuit aux 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)

LIVRE BLANC
SAF

© 2024 Stratasys. Tous droits réservés. Stratasys, le logo de Stratasys, SAF, H350, GrabCAD et GrabCAD Print sont des marques déposées de Stratasys Inc. Toutes les autres marques enregistrées appartiennent à leurs propriétaires respectifs, et Stratasys n'assume aucune responsabilité relative au choix, à la performance ou à l'utilisation de ces produits d'autres marques. Les spécifications des produits sont modifiables sans préavis.
WP_SAF_Chemical Resistance to Automotive Chemicals_A4_0624a