

## Test de densité sur les tapis Presfab

Le but d'un test de densité et méthodologie

La mesure de la densité indique le poids d'un objet par unité de volume. Pour un objet plein, la façon usuelle d'obtenir la densité est de mesurer la masse de l'objet avec une balance et d'obtenir son volume par mesure directe de son volume (métrologie) ou d'estimer celui-ci par déplacement d'eau.

## Le concept de densité surfacique

Données de « densité surfacique », ce qui fait référence à ce qui est normalement appelé le poids ou la masse surfacique, soit la masse par unité de surface. Dans le système S.I., celle-ci s'exprime en  $\text{kg/m}^2$ . Cette quantité est reliée à la forme d'un objet. Ainsi, pour un même matériau, un corps sphérique aura une masse surfacique plus élevée qu'un cylindre. Dans le cas des tapis faisant l'objet de ce rapport, la masse surfacique est une façon indirecte de décrire la mobilité de ceux-ci lorsque déposés au sol. On peut s'attendre à ce qu'un tapis ayant une masse surfacique plus élevée soit plus difficile à déplacer en raison de la friction plus grande. La géométrie à rainures des tapis Presfab rend difficile l'application de ce concept. Nous illustrons sommairement à la figure 4 le profil en section de ces tapis. Nous considérons que compte tenu de l'usage d'un tapis, la quantité d'intérêt est le poids de l'objet en regard de sa surface de contact avec le sol, ce qui devient un estimateur de la friction. Tel que montré à la figure 4, pour un même poids volumique, la friction avec le sol d'un tapis Presfab ne sera pas la même selon qu'il est posé sur le côté plat ou le côté rainuré.

Figure 4 : Relation entre la surface de contact au sol des tapis Presfab et la masse surfacique. [Les examens microscopiques et la porosité](#)

### Examens microscopiques

Nous avons effectués les examens microscopiques suivants sur un échantillon de tapis prélevé directement chez Presfab parmi un lot de tapis neufs. Cet échantillon est montré à la figure 5 (les trous sont des pastilles coupées à l'emporte-pièce afin de faire des mesures de propriétés mécaniques en compression).

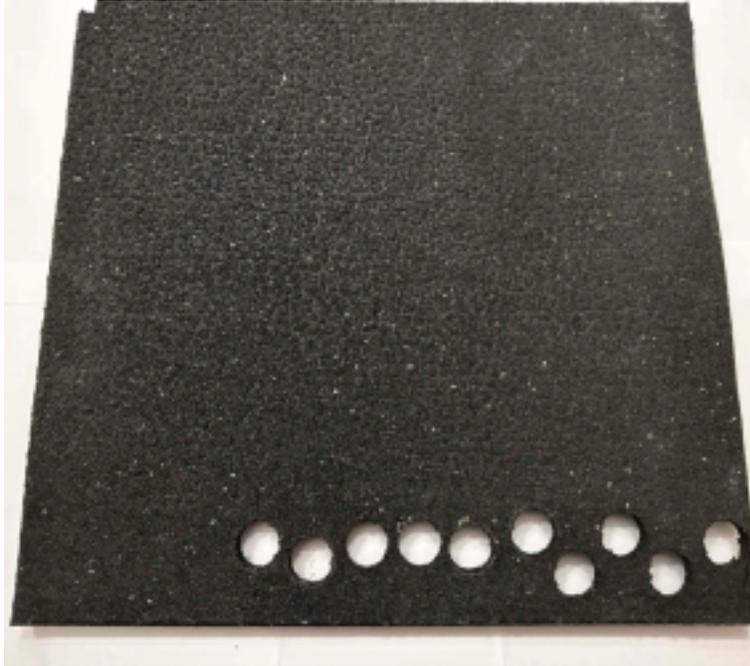


Figure 5 : Échantillon de tapis prélevé chez Presfab

La figure 6 montre la surface d'un échantillon de tapis Presfab du côté sans rainure. L'image présente une surface texturée. Quelques fibres sont présentes, tel qu'attendu dans un matériau provenant du recyclage de pneus. On n'observe pas de cavités profondes, ce qui indique clairement une faible porosité. La figure 7 montre la surface d'un tapis après une coupe en section. On y constate encore une fois l'absence de cavité de grande taille. De plus, tel que mis en évidence par l'encadré en rouge sur cette même figure, la consolidation des granules est très bonne, puisqu'on observe l'absence de vide entre les particules de caoutchouc.

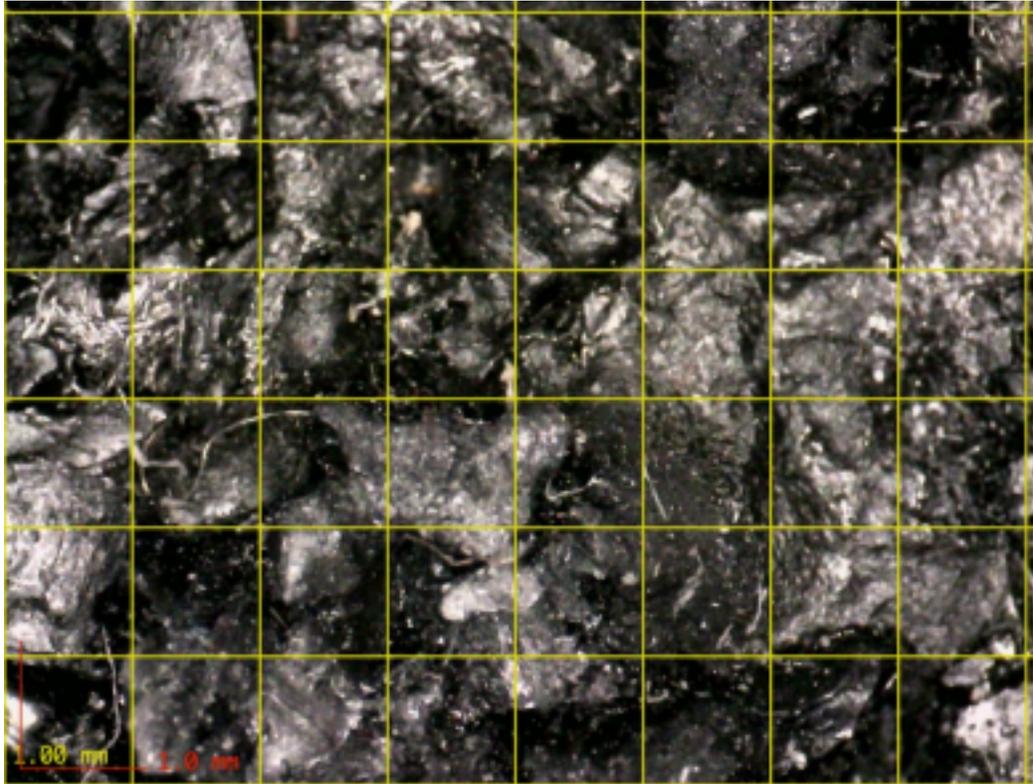


Figure 6 : Surface de l'échantillon Presfab au grossissement 48X



Figure 7 : Surface de la section de l'échantillon Presfab au grossissement 48X

## La réticulation des tapis

Les tapis Presfab, sont obtenus à partir de granules de caoutchouc recyclé. Ce matériel granulaire est sans cohésion et donc pour en faire des tapis, une transformation chimique doit être effectuée. Le procédé le plus courant est la vulcanisation, puisqu'il est similaire à la technique de réticulation du caoutchouc vierge. La vulcanisation est un procédé chimique qui décrit la réaction du soufre avec les liens chimiques insaturés de la résine :

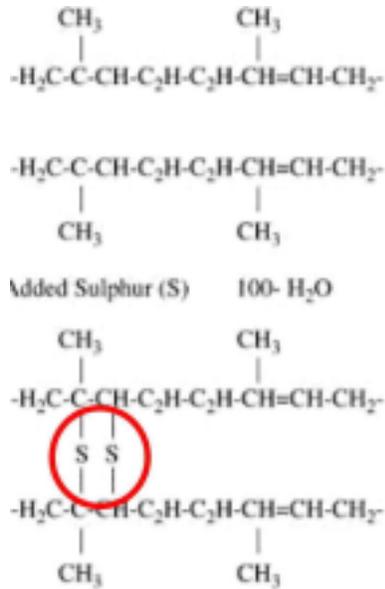


Figure 8: Vulcanisation au soufre

Les liens chimiques obtenus de cette réaction (encerclés en rouge sur le schéma de la figure 8) attachent les molécules du caoutchouc les unes aux autres, et créent ainsi une cohésion entre les granules. Plus le nombre de liens sera grand, plus la cohésion dans le matériel sera importante (c'est le concept de la densité de réticulation). Dans le cas des produits de Presfab, la réticulation de la granule de caoutchouc s'effectue à l'aide d'un liant polyuréthane. Le liant sous forme liquide est ajouté et mélangé aux granules de caoutchouc. Le mélange résultant est chauffé dans une presse afin d'activer la réaction des isocyanates avec les polyols de la résine. Bien que différent du procédé de RoyalMat et Animat, cette façon de faire n'est pas unique à Presfab. Par exemple, la compagnie Fusetex (Angleterre) met en marché le liant Curabound pour granules de caoutchouc. En contraste avec le procédé de vulcanisation, la réticulation avec les uréthanes s'effectue à des conditions de température et pression plus faible. Le liant polyuréthane, après le procédé de mise en forme, est lui-même un élastomère. On peut faire varier les propriétés mécaniques de cet élastomère en modifiant les paramètres de la formulation.

## Évaluation des tapis Presfab

### Propriétés mécaniques liées à son usage

Tel que discuté précédemment, les tapis Presfab ont été conçus pour un usage domestique ou industriel (poste de travail). Ces tapis peuvent donc être utilisés de différente façon et en raison

de cette versatilité, nous ne trouvons pas de normes ou standard de fabrication unique qui permettrait de les évaluer de façon absolue. Cependant, il est possible de faire une telle évaluation pour au moins l'une de ces fonctions, soit l'usage dans un poste de travail. Dans un tel cas, le tapis doit supporter adéquatement le poids d'une personne, sans déformation excessive mais avec assez de souplesse pour assurer le confort de personne en position debout sur une longue période de temps. L'ergonomie des tapis anti-fatigue pour les postes de travail est souvent caractérisée par la rigidité du matériel et son travail-perdu. Des données tirées de Wiggermann et Keyserling illustrent bien ce concept, montré aux Figures 9 et 10

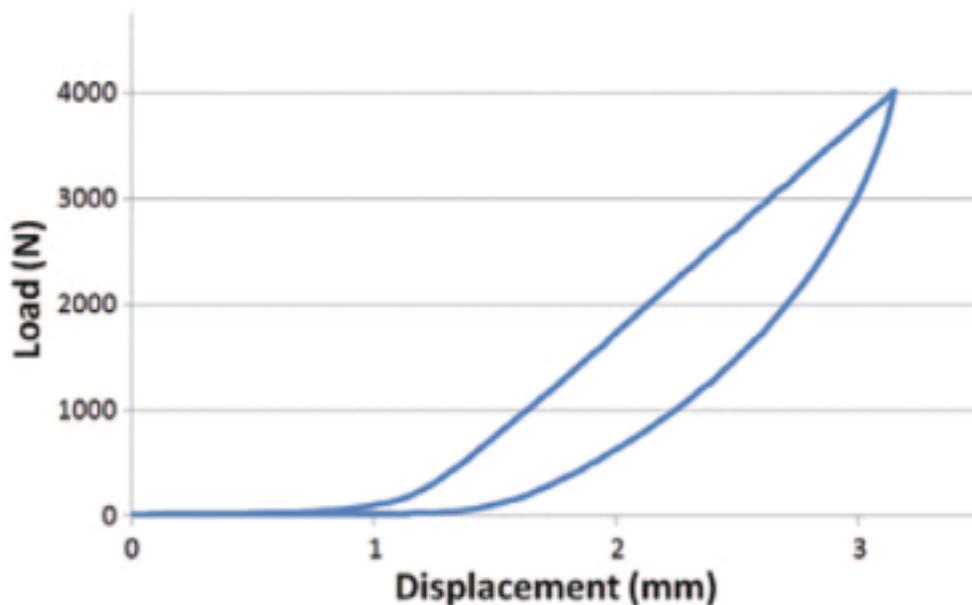


Figure 9 : Graphique de la force par rapport au déplacement lorsqu'un tapis anti-fatigue est comprimé et déchargé. La partie linéaire du graphique est générée lorsque la charge de compression sur le tapis est augmentée. La pente de cette droite est la mesure de la rigidité, en N/mm (Beer & Johnston, 2002). La partie courbe du graphique est générée lorsque la charge de compression est ensuite réduite. L'aire entre les courbes de compression et de décompression est la mesure du travail perdu, en  $N \times mm$  (Duggan, 1965).

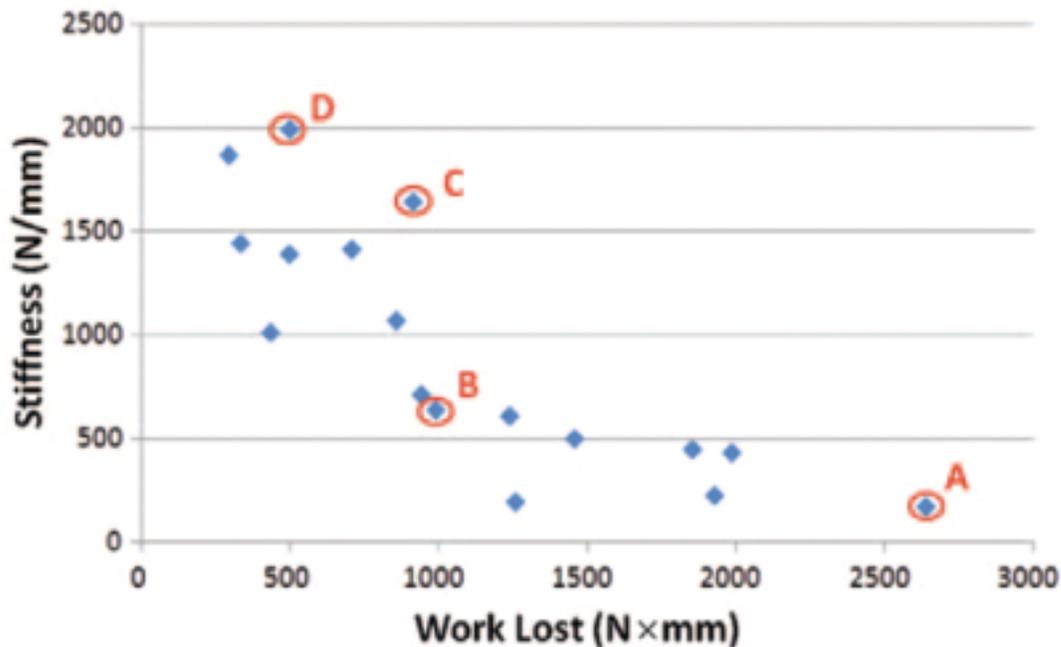


Figure 10 : Valeurs de rigidité et de perte de travail des tapis disponibles dans le commerce pris en compte pour l'étude. Les tapis sélectionnés pour l'étude de Wiggermann et Keyserling sont étiquetés A, B, C, et D

En accord avec la méthodologie de Wiggermann et Keyserling, nous avons mandaté un laboratoire indépendant (COALIA) afin d'obtenir les données présentées aux Figure 9 et 10 pour les tapis Presfab, en utilisant le protocole ASTM D575. Des échantillons ont été préparés en accord avec le protocole à partir d'une pièce de tapis Presfab obtenu lors de la visite de l'usine. Le rapport complet de COALIA se trouve en annexe. La Figure 11 rapporte les données obtenues. De celles-ci, on obtient par calcul les valeurs suivantes :

- Rigidité : 2200 N/mm
- Travail-perdu : 980 N.mm

En plaçant ce point sur la courbe de la Figure 10, on obtient la figure 12. On y constate que le tapis Presfab se situe dans la zone médiane des 17 tapis utilisés dans l'étude Wiggermann et Keyserling au niveau du travail-perdu et dans la fraction supérieure en terme de rigidité.

Figure 11 Force en fonction de la déformation dans un test de compression sur un échantillon de tapis Presfab

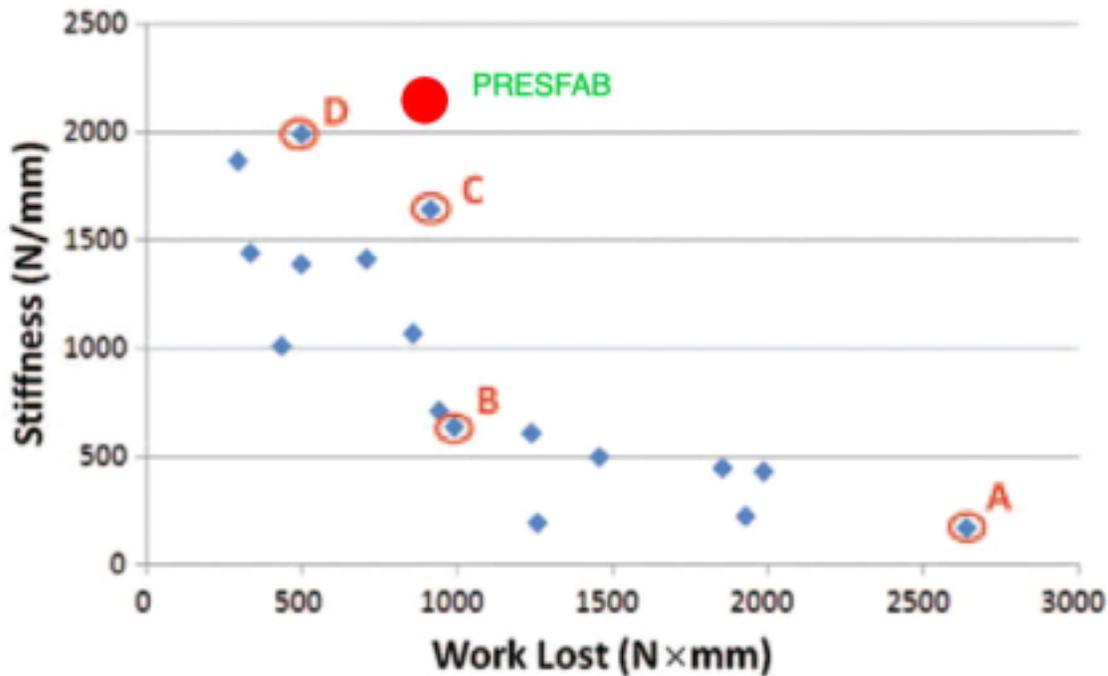


Figure 12 Comparaison du tapis Presfab (cercle rouge plein) avec les tapis utilisés dans l'étude de Wiggermann et Keyserling.

### Motif et conception

Par opposition à un tapis pleine épaisseur, les tapis Presfab ont un motif évidé obtenu à partir de rainure de 7 mm. Le motif évidé permet une déformation accentuée lors de l'effort en compression, ce qui se traduit éventuellement par un confort accru. Pour illustrer cet effet, nous avons calculé à l'aide du logiciel de simulation COMSOL MultiPhysics la déformation d'un tapis soumis à la pression du poids d'une personne et effectué une comparaison avec un tapis sans motif, pour un même module d'élasticité. Les résultats des calculs sont présentés à la figure 14 pour le tapis générique et à la figure 14 pour le tapis Presfab. Dans les deux cas, la déformation calculée est amplifiée par un facteur 10 afin d'illustrer de façon plus évidente l'effet du motif. En effet, on constate à la figure 14 que pour un poids appliqué identique, le tapis avec motif se déforme de façon plus importante afin d'absorber la contrainte.

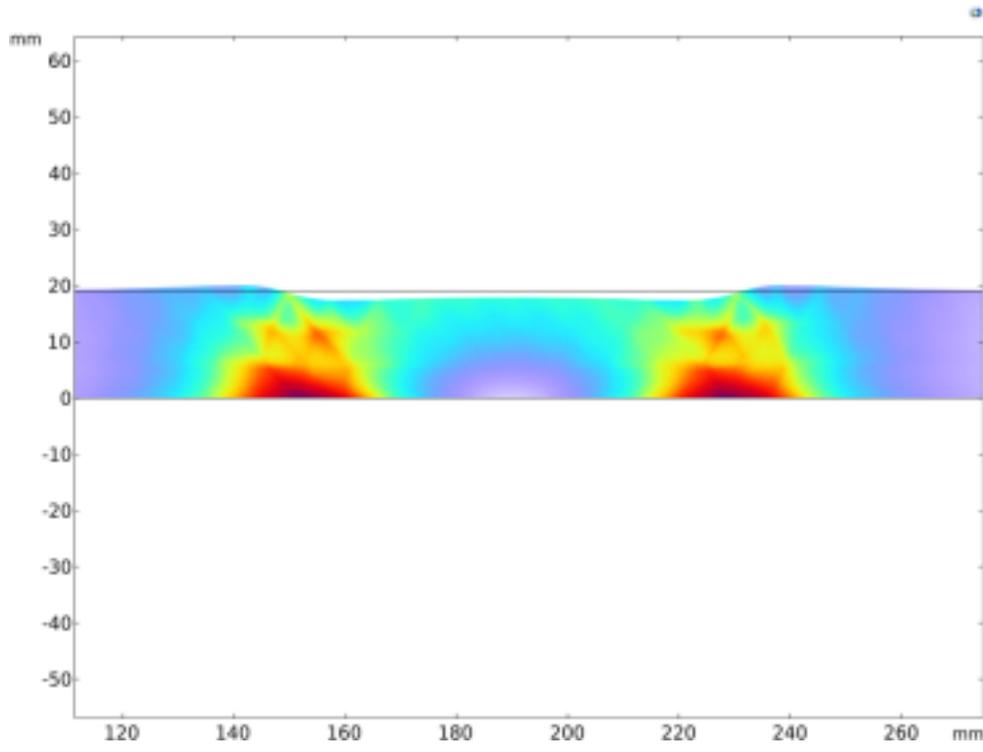


Figure 13 : Déformation d'un tapis générique, sans motif, sous l'effort du poids d'une personne

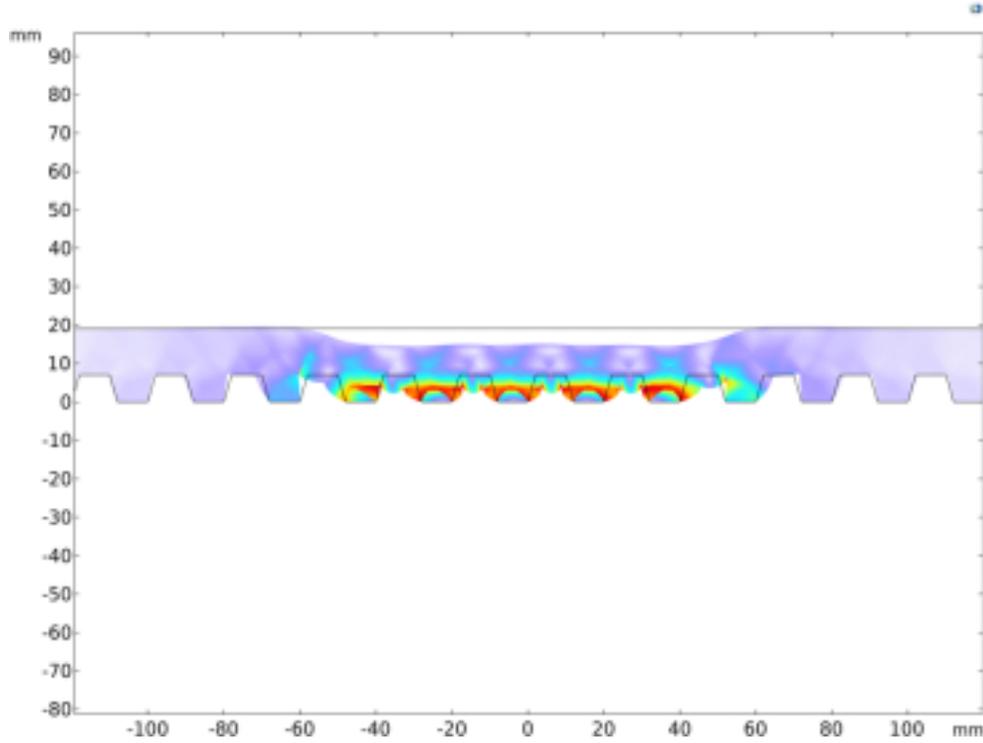


Figure 14 : Déformation d'un tapis Presfab (avec rainures) sous l'effort du poids d'une personne

## Nos conclusions

Nous avons été mandaté pour :

- Évaluer la qualité de la fabrication des tapis Presfab
- Évaluer la pertinence du design des tapis Presfab en regard de l'usage auquel ils sont destinés

Nous présentons ici nos conclusions qui découlent de la réalisation de ce mandat.

### La réticulation et la vulcanisation

La réticulation des granules de caoutchouc recyclé peut s'effectuer de différentes façon. Les tapis Presfab sont réticulés par un procédé uréthane, faisant appel à des isocyanates. Les tapis Presfab ont été comparés, à des tapis réticulés par le soufre.(RoyalMat et Animat) Chacun de ces deux procédés mène à une densité de réticulation différente, ce qui explique qualitativement la différence de comportement mécanique entre les tapis Presfab et ceux d'Animat et de RoyalMat. Cette différence est intrinsèque à la chimie du procédé et on ne peut arriver à la conclusion scientifique et technique que le tapis qui résulte d'un procédé plutôt que de l'autre est frappé d'un vice de fabrication manifeste ou est nécessairement impropre à l'usage pour lequel il est destiné.

### La porosité

Puisque la porosité est la fraction d'un vide dans un volume donné. L'image en coupe d'un tapis Presfab ne montre pas de porosité significative. Les densités volumiques de chacun des trois types de tapis sont identiques, en considérant la marge d'erreur. Puisque les trois tapis sont faits de granules de caoutchouc recyclées, on doit conclure que la porosité moyenne de chaque type de tapis est similaire.

## ANNEXE

### Rapport des mesures de propriétés mécaniques en compression

|   |   |                           |
|---|---|---------------------------|
| <b>Client :</b>                             | École Polytechnique de Montréal<br>2500, Chemin de Polytechnique<br>Montréal, Québec<br>H3T 1J4 | <b>Date :</b> 31 mai 2023 |
| <b>Attention :</b>                          | Charles Dubois  |                           |
| <b>Identification – Échantillon(s) :</b>    | Caoutchouc  |                           |
| <b>Date de réception – Échantillon(s) :</b> | 9 mai 2023  |                           |
| <b>Demande du client:</b>                   | Essai de compression  |                           |
| <b>Date(s) d'exécution des travaux :</b>    | 31 mai 2023   |                           |

**ANALYSES:**

**COMPRESSION – ASTM D575**

**Appareil :** Zwick Roell Z030  
**Précharge :** 5 N  
**Vitesse d'essai :** 12 mm/min  
**Méthode :** A  
**Déformation :** 20%  
**Échantillon :** Caoutchouc  
**Conditionnement :** 23°C/50%RH

| Essai             | Échantillon: Caoutchouc |              |                             |
|-------------------|-------------------------|--------------|-----------------------------|
|                   | Diamètre (mm)           | Hauteur (mm) | Force à 20% de charge (kPa) |
| 1                 | 26,40                   | 13,51        | 717                         |
| 2                 | 25,78                   | 13,52        | 789                         |
| 3                 | 25,68                   | 13,37        | 870                         |
| <b>Moyenne</b>    | <b>25,95</b>            | <b>13,47</b> | <b>792</b>                  |
| <b>Écart-type</b> | <b>0,39</b>             | <b>0,08</b>  | <b>77</b>                   |
| <b>Médiane</b>    | <b>25,78</b>            | <b>13,51</b> | <b>789</b>                  |

**Observations:** n/a

**Réalisé par:** Kristina Bourgautl, Tech

Les courbes des analyses se retrouvent en annexe.

**Vérfié par :**



Eric Leclair, Ing.

Ce rapport est produit à l'usage exclusif du client auquel il est adressé et ne doit pas être reproduit, en partie ou en entier, sans le consentement écrit préalable de COALIA. Les présents résultats se réfèrent uniquement aux échantillons soumis et se limitent aux tests ou analyses effectués. Nous disposerons de tout échantillon après trente (30) jours de la date de publication de ce rapport, sauf demande contraire du client. Les coûts reliés à l'expédition desdits échantillons seront aux frais du client.

Client : Polytechnique  
 N° de demande : P-11592  
 Norme d'essai : ASTM D 575/A  
 Matériau : Caoutchouc  
 Traitement préparatoire : 23°C/50%RH  
 Précharge : 5 N  
 Vitesse dans le cycle de mesure : 12 mm/min

### Résultats d'essai:

| Légende  | do<br>mm | h<br>mm | F (20%)<br>kPa |
|--|----------|---------|----------------|
|   | 26,40    | 13,51   | 717            |
|   | 25,78    | 13,52   | 789            |
|  | 25,68    | 13,37   | 870            |

| Série | do<br>mm | h<br>mm | F (20%)<br>kPa |
|-------|----------|---------|----------------|
| n = 3 |          |         |                |
| x     | 25,95    | 13,47   | 792            |
| s     | 0,39     | 0,08    | 77             |
| med   | 25,78    | 13,51   | 789            |

