



Fait à St sylvain d'Anjou, le 20/01/2015
Par VEYRAT David, ingénieur R&D
secteur routier et aménagement urbain

Rapport d'analyse : Mesures performanciennes des systèmes de guidage tactile au sol

1 Objet :

Analyse des performances techniques des systèmes de guidage au sol. Cette analyse concerne les bandes podotactiles et les rails de guidage intérieur et extérieur.

2 Mesures effectuées :

Les échantillons seront évalués sur les caractéristiques suivantes :

- Résistance au choc (NFT 30-039)
- Résistance à la pliure conique (NFT 30-078)
- Résistance à l'emboutissage (NFT30-019)
- Tenue aux intempéries (EN ISO 11507)
- Dureté (NF EN ISO 868)
- Stabilité dimensionnelle aux variations de températures (NF P 98-351)

3 Caractéristique des systèmes analysés :

Les analyses effectuées caractérisant avant tout les matériaux constitutifs des systèmes, 3 catégories d'échantillon ont été utilisées :

- Les produits destinés à un usage intérieur à base de Polyuréthane
- Les produits destinés à un usage extérieur à base de Méthacrylates
- une catégorie plus spécifique des produits extérieurs, le système granité.
- Les produits testés sont issus des stocks. Les essais sont réalisés au minimum 7 jours après fabrication.

4 Résistances aux chocs

L'objectif de ce test est d'évaluer la résistance des différents systèmes à la chute d'une masse. La mesure est effectuée sur des bandes podotactiles non collées. Elle est représentative du comportement des bandes lors d'un choc à un endroit où elles ne sont pas solidaires du support (présence d'une bulle d'air non évacuée lors du collage, creux du support non comblé).

4.1 Méthode utilisée, principe

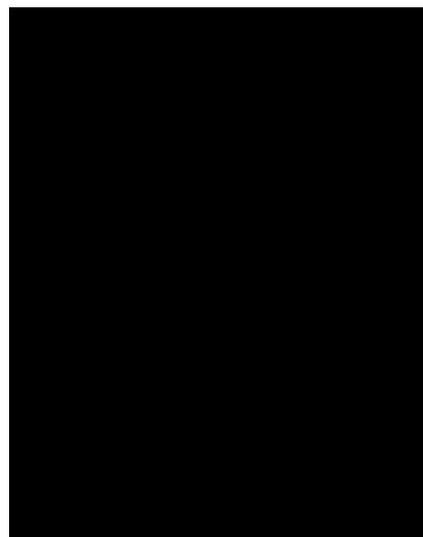
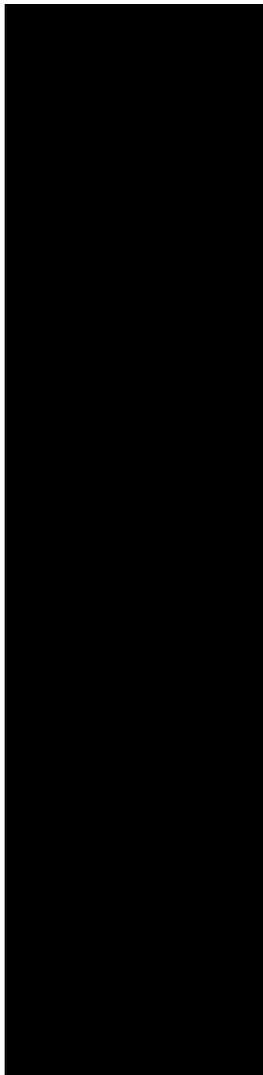
L'essai conduit est adapté de la norme NF T 30-039. Il consiste à soumettre la semelle d'une bande podotactile (d'épaisseur 2.5 mm +/- 0.5 mm) au choc d'une masse tombant en chute guidée et à déterminer la hauteur de chute minimale provoquant une détérioration du système. Les deux faces de la semelle sont examinées, toutefois l'essai est poursuivi tant que la face visible n'est pas abimée.

L'essai est mené sur des échantillons à deux températures : 23°C et 6°C.

4.2 Descriptif de l'appareil :

L'appareil comprend :

- une plaque de base en acier percée d'un orifice circulaire de 22 mm de diamètre et de 3 mm de profondeur dont le centre est situé dans l'axe du tube mentionné ci-dessous.
- Une masse de choc de 400g en acier d'extrémité sphérique polie de 23 mm de diamètre
- Un tube vertical gradué guidant la chute de la masse et déterminant la hauteur de chute.



4.3 Mesures

Avant l'essai, les échantillons sont mis à température (23°C ou 6°C +/- 2°C) pendant 12h. La mesure est effectuée à 23°C +/- 2°C.

Le tube conduisant la chute de la bille doit être vertical. Il est vérifié avant la série de mesure à l'aide d'un niveau.

L'échantillon analysé est placé sur la plaque de base. Le côté visible (celui où se situe les plots) est placé vers le haut.

Les hauteurs de chute sont croissantes. Pour cet essai les hauteurs de chute évoluent par paliers de 5 cm. L'essai s'arrête dès que la face visible de l'échantillon est altérée. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-dessous.

4.4 Résultats

| | | |
|-----------------|------|--|
| Système MMA | 23°C | 50 cm : fissuration 45 cm : fissuration sur la face non visible de la bande 40 cm pas de détérioration |
| | 6°C | >25 cm : cassure nette 20 cm : fissuration 15 cm : fissuration sur la face non visible de la bande 10 cm pas de détérioration |
| Système granité | 23°C | >25 cm : cassure nette 20 cm : fissuration 15 cm : fissuration sur la face non visible de la bande 10 cm pas de détérioration |
| | 6°C | >20 cm : cassure nette 15 cm : fissuration 10 cm : fissuration sur la face non visible de la bande 5 cm pas de détérioration |
| Système PU | 23°C | 50 cm pas de détérioration |
| | 6°C | 50 cm pas de détérioration |

4.5 Conclusion

Cet essai est représentatif du **comportement des bandes lors d'un choc à un endroit ou elles ne sont pas solidaires du support** (présence d'une bulle d'air non évacuée lors du collage, creux du support non comblé). Il démontre avant tout la **nécessité d'une pose soignée du produit**.

Les systèmes extérieurs (MMA et granité), plus rigides car devant supporter un trafic plus intense et plus exigeants, sont plus sensibles au choc que les systèmes souple intérieur en PU. On remarque toutefois qu'à des températures ordinaires, ces derniers supportent des chocs de hauteur importante sans dégradation visible.

5 Résistance à la pliure conique

L'objectif de ce test est d'évaluer la souplesse des différents systèmes à différente température. La mesure est effectuée sur des bandes podotactiles non collées. Elle est représentative du comportement des bandes lors d'une déformation du support survenant après le collage, ainsi que de la capacité du système à épouser un support irrégulier.

5.1 Méthode utilisée, principe

L'essai conduit est adapté de la norme NF T 30-078. Il consiste à soumettre la semelle d'une bande podotactile (d'épaisseur 2.5 mm +/- 0.5 mm) à une torsion guidée par un mandrin conique et à déterminer le diamètre minimal de pliure que peut supporter le système.

Cette mesure n'est effectuée que sur les systèmes MMA et PU. Le principe n'est pas applicable aux bandes granitées, l'appareillage nécessitant une ablation des plots sur la semelle.

L'essai est mené sur des échantillons à deux températures : 23°C et 6°C.

5.2 Descriptif de l'appareil :

L'appareil d'essai consiste en un mandrin tronconique de dimensions suivantes :

- Longueur du cône 203 mm
- Petit diamètre 3.2 mm
- Grand diamètre 38 mm

Le mandrin est monté horizontalement sur un socle. Un étrier muni d'une barre de pliage cylindrique et libre sur son axe est prévu pour plier la semelle d'essai autour du mandrin. La semelle d'essai est maintenue au socle par un dispositif de serrage.



5.3 Mesures

Avant l'essai, les échantillons sont mis à température (23°C ou 6°C +/- 2°C) pendant 12h. La mesure est effectuée à 23°C +/- 2°C.

Le côté visible (celui où se situaient les plots) de l'échantillon analysé est placé vers le haut.

L'échantillon est placé en butée du côté du plus petit diamètre du cône.

Une fois l'échantillon placé et fixé, on lui fait décrire une rotation de 180° autour du mandrin de façon régulière en 3 secondes.

5.4 Résultats

Les deux systèmes MMA (extérieur) et PU (intérieur) n'ont montré, après observation à la loupe au niveau de la pliure au diamètre le plus étroit, aucune détérioration d'aucune sorte, et ce, quelle que soit la température de l'échantillon (23°C ou 6°C).

5.5 Conclusion

Cet essai est **représentatif du comportement des bandes lors d'une déformation du support survenant après le collage**, ainsi que de la **capacité du système à épouser un support irrégulier**.

Les deux systèmes extérieurs (MMA) et intérieur (PU) montrent une remarquable souplesse même à des températures très basses. Cela leur permet de **résister à tous les mouvements de support**, même importantes, et leur confère une **importante capacité d'adaptation aux supports non réguliers**.

6 Essais d'emboutissage

L'objectif de ce test est d'évaluer la résistance des différents systèmes à la déformation lente et régulière par emboutissage. La mesure est effectuée sur des bandes podotactiles non collées. Elle est représentative du comportement des bandes lors de la présence d'un objet ou d'un défaut ponctuel sous la bande après collage.

6.1 Méthode utilisée, principe

L'essai conduit est adapté de la norme NF T 30-019. Il consiste à soumettre la semelle d'une bande podotactile (d'épaisseur 2.5 mm +/- 0.5 mm) à la pénétration progressive d'un objet sphérique et de déterminer la hauteur de chute maximale d'emboutissage provoquant une détérioration du système. L'emboutissage se fait du côté non visible du système, l'observation est faite de l'autre côté.

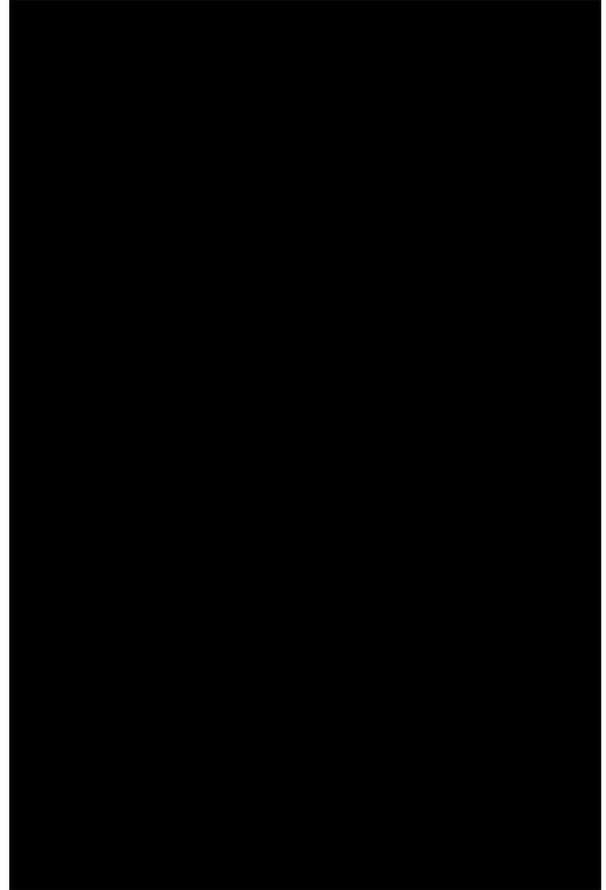
Cette mesure n'est effectuée que sur les systèmes MMA et PU. Le principe n'est pas applicable aux bandes granitées, l'appareillage nécessitant une ablation des plots sur la semelle.

L'essai est mené sur des échantillons à deux températures : 23°C et 6°C.

6.2 Descriptif de l'appareil :

Le dispositif d'emboutissage se compose essentiellement des éléments suivants :

- Une matrice à surface dure de 27 mm +/-0.05mm de diamètre intérieur et dont la surface en contact avec l'échantillon est polie.
- Une bague de retenue dont la surface en contact avec l'échantillon est polie.
- Un poinçon constitué d'une sphère en acier poli très dur, de 20 mm +/-0.05mm de diamètre. Le poinçon ne tourne pas et ne se déplace pas de l'axe de la matrice.
- Un système hydraulique permettant de faire avancer le poinçon
- Un dispositif de mesure précis à 0.05 mm.



Avant l'essai, les échantillons sont préparés aux dimensions nécessaires à l'appareil :

- 210 mm de long
- 70 mm de large
- 2.5 mm d'épaisseur

Puis les échantillons sont placés à température (23°C ou 6°C +/- 2°C) pendant 12h. La mesure est effectuée à 23°C +/- 2°C.

Le côté visible (celui où se situaient les plots) de l'échantillon analysé est placé vers le haut. Il est fermement maintenu en place sur la matrice par la bague de serrage, l'échantillon est placé de manière à ce que le poinçon soit centré.

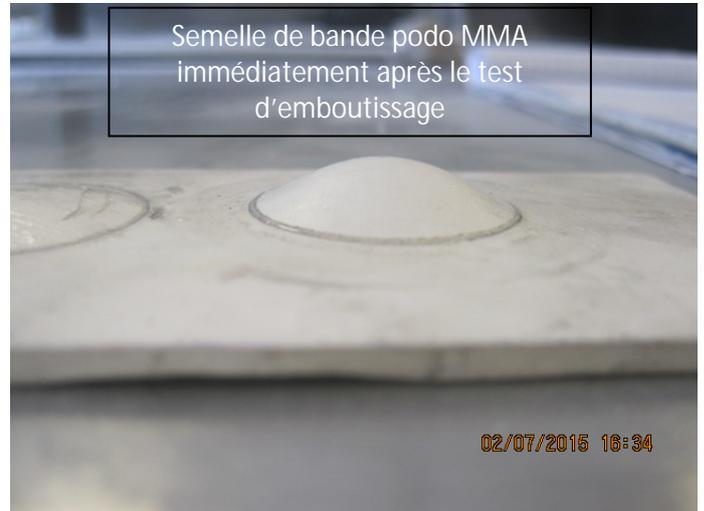
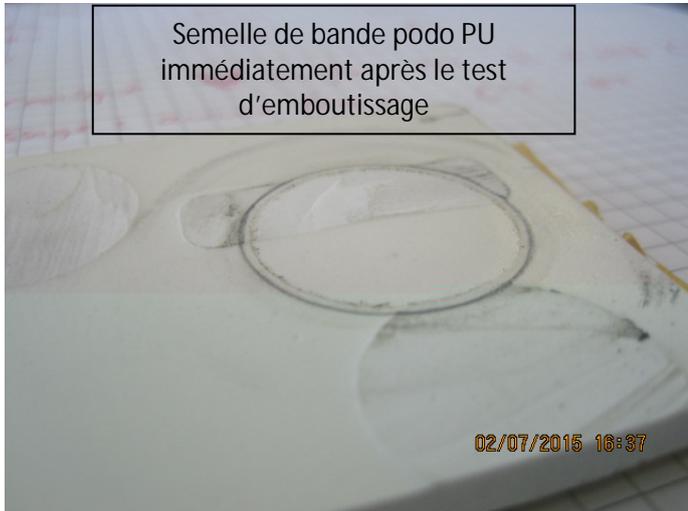
Une fois l'échantillon placé et fixé, on réalise trois emboutissages en faisant progresser le poinçon lentement et à vitesse constante.

6.4 Résultats

Les deux systèmes MMA (extérieur) et PU (intérieur) subissent l'emboutissage sans être altérés jusqu'aux capacités maximales de l'appareil, à savoir > 12 mm.

Il est toutefois possible de départager les systèmes MMA et PU en observant leur comportement lorsque l'on retire le poinçon :

- Les bandes PU (intérieures) reprennent instantanément leur forme d'origine.
- Les bandes MMA (extérieures) ne reprennent leur forme d'origine qu'au bout de 15 minutes.



6.5 Conclusion

Cet essai est **représentatif du comportement des bandes lors de la présence d'un objet ou d'un défaut ponctuel sous la bande après collage.**

Les deux systèmes extérieurs (MMA) et intérieur (PU) montrent un **excellent comportement vis-à-vis d'une déformation lente** due à l'incursion d'un objet contondant. De plus les bandes conservent une mémoire de forme qui leur permet de se repositionner dans le cas où la source de la déformation est éliminée.

7 Tenue aux intempéries

L'objectif de ce test est d'évaluer la résistance des différents systèmes aux intempéries. Pour La mesure est effectuée sur des bandes podotactiles non collées.

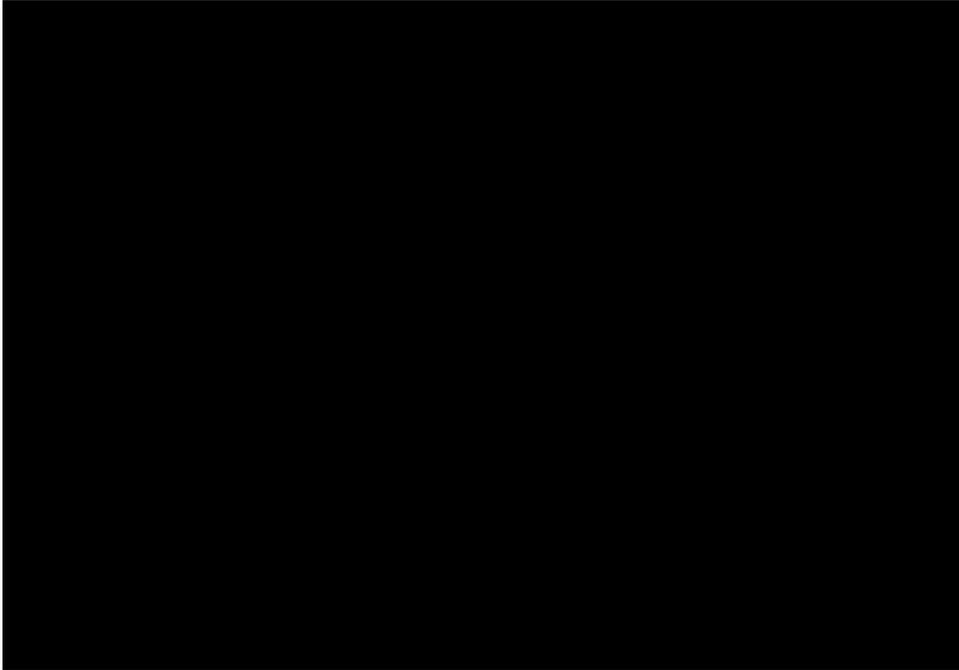
7.1 Méthode utilisée, principe

L'essai conduit est adapté de la norme EN ISO 11507. Il consiste à soumettre les échantillons à des conditions climatiques artificielles dont les paramètres sont contrôlés (émission d'UV, arrosage, vapeur, températures), pour évaluer de façon accéléré, le comportement des systèmes face aux conditions naturelles. Il n'existe pas de corrélation directe entre le vieillissement artificiel et le vieillissement naturel, ce test n'est donc utilisable qu'à titre indicatif. Toutefois l'usage d'un tel essai en corrélation avec une expérience sur le terrain permet de préciser les résultats.

L'essai est mené sur des échantillons de différentes couleurs.

7.2 Descriptif de l'appareil :

L'appareil est constitué d'une enceinte conditionnée, de 3 lampes UV, ainsi que de 3 rampes d'aspersion. Un rack rotatif accueille les échantillons et est disposé de manière à ce que toutes les prises d'essais subissent la même exposition aux UV et à l'arrosage.



Les lampes sont des lampes UVB (313 nm). Ces lampes contiennent une part importante de rayonnement inférieur à 300 nm. La grande quantité d'énergie fournie par ces radiations en fait des lampes très exigeantes du point de vue du vieillissement. Bien au-delà des sollicitations fournies par la lumière solaire. Les échantillons sont placés à 55mm de la source d'UV.

7.3 Mesures

7.3.1 Préparation des échantillons.

Cet essai ne concernant que les systèmes extérieur, seul des échantillons en MMA on été utilisé. Pour l'analyse nous avons préparé les prises d'essais de 90x150 mm suivants :

- Bande podotactile MMA Blanche
- Bande podotactile MMA beige
- Bande podotactile MMA jaune
- Bande podotactile MMA grise
- Bande podotactile MMA noire
- Bande podotactile Granité Gris-claire.

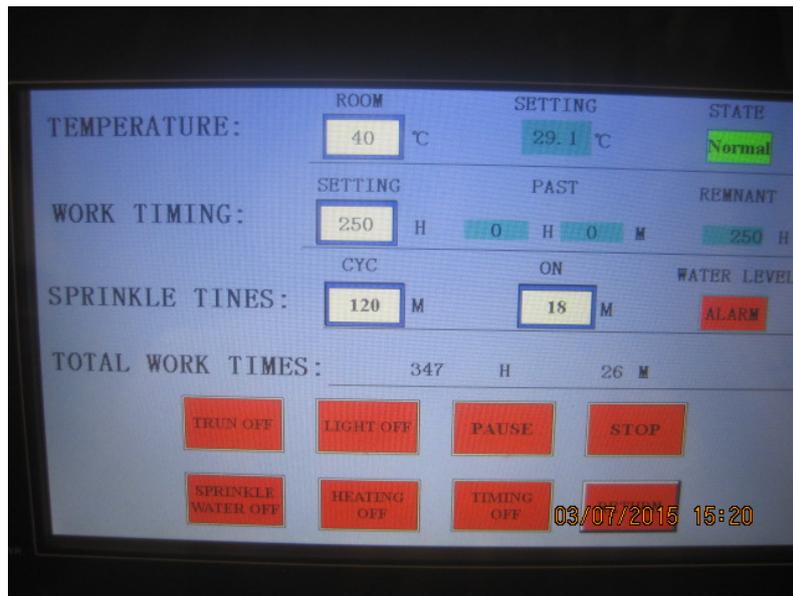
Ces échantillons ont été préalablement mesurés et photographiés afin de constater une évolution éventuelle d'aspect et de dimension.

7.3.2 Réglage du cycle de la machine

La durée de l'essai a été fixée à 250h, avec un premier contrôle d'aspect après 15h. Durant cet essai les lampes UV étaient allumées 100% du temps.

La température de l'enceinte a été fixée à 40°C maximum et 35°C minimum.

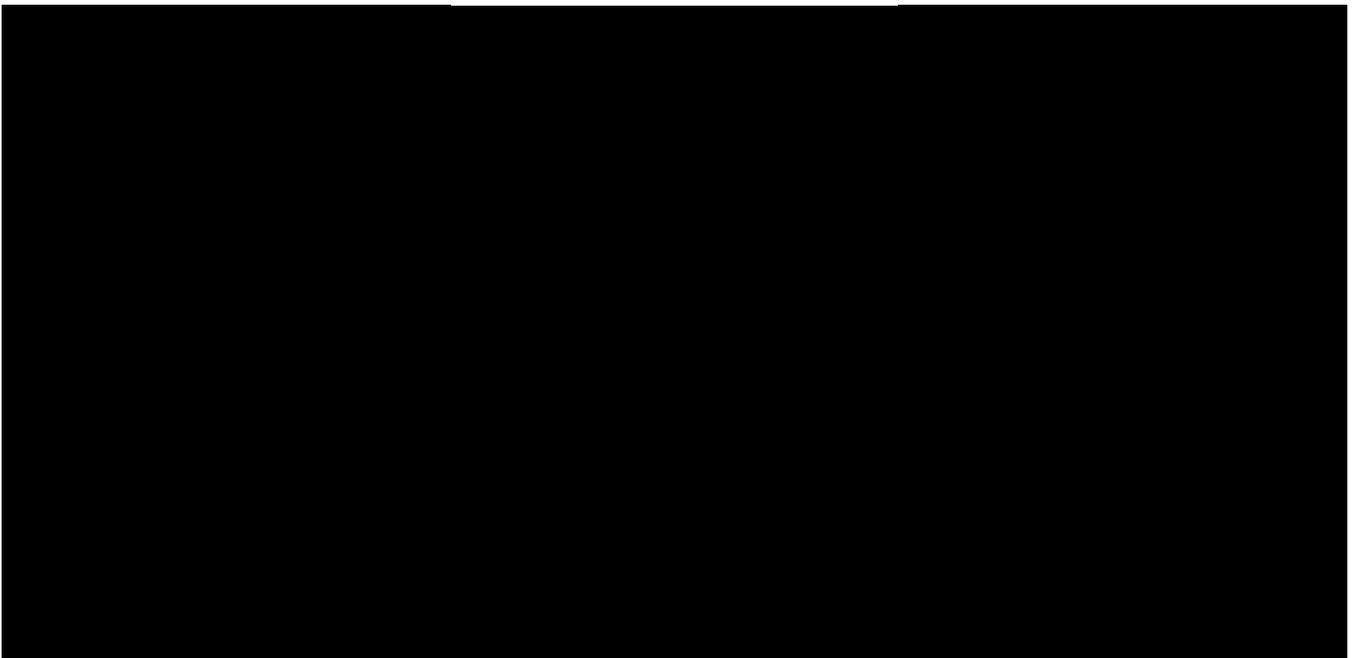
Un cycle d'arrosage a été programmé : 18 minutes avec arrosage suivi de 102 minutes sans. Ce cycle de 120 minutes est reproduit indéfiniment tout au long des 250h de test.



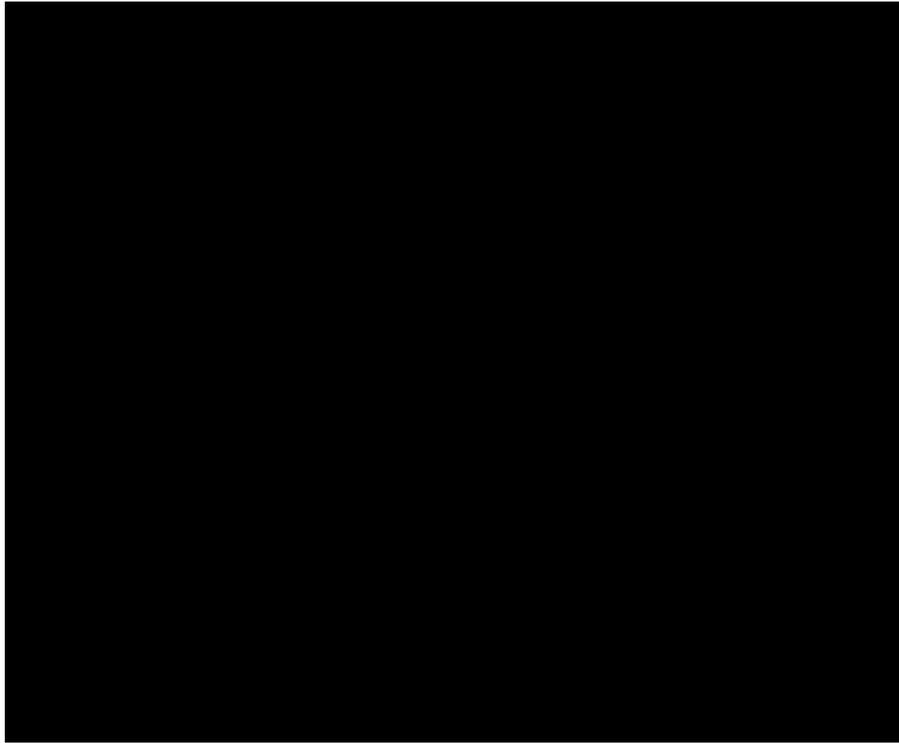
Les échantillons sont sortis après 15h de vieillissement et sont photographiés. Puis le test est relancé. Au terme des 250h les échantillons sont à nouveau photographiés et mesurés. Puis on procède à un lessivage des échantillons afin d'éliminer les salissures superficielles, et à nouveau on les photographie.

7.4 Résultats

Voici les comparaisons visuelles faites suite au vieillissement en enceinte climatique.



Très peu de coloration, quelques zone noircies mais revient blanc après lessivage.



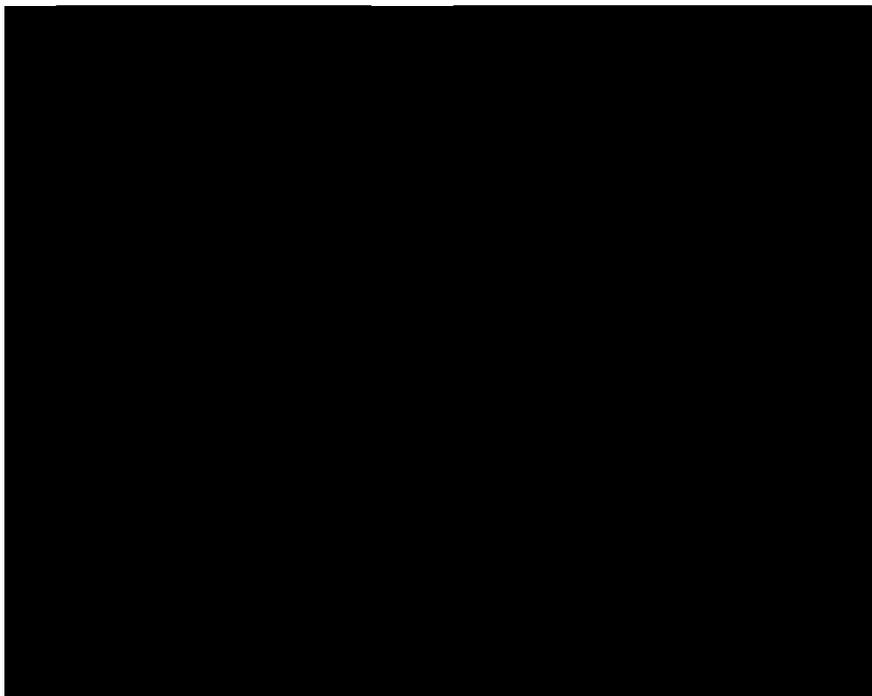
Légère coloration, quelques zones noircies mais revient normal après lessivage.



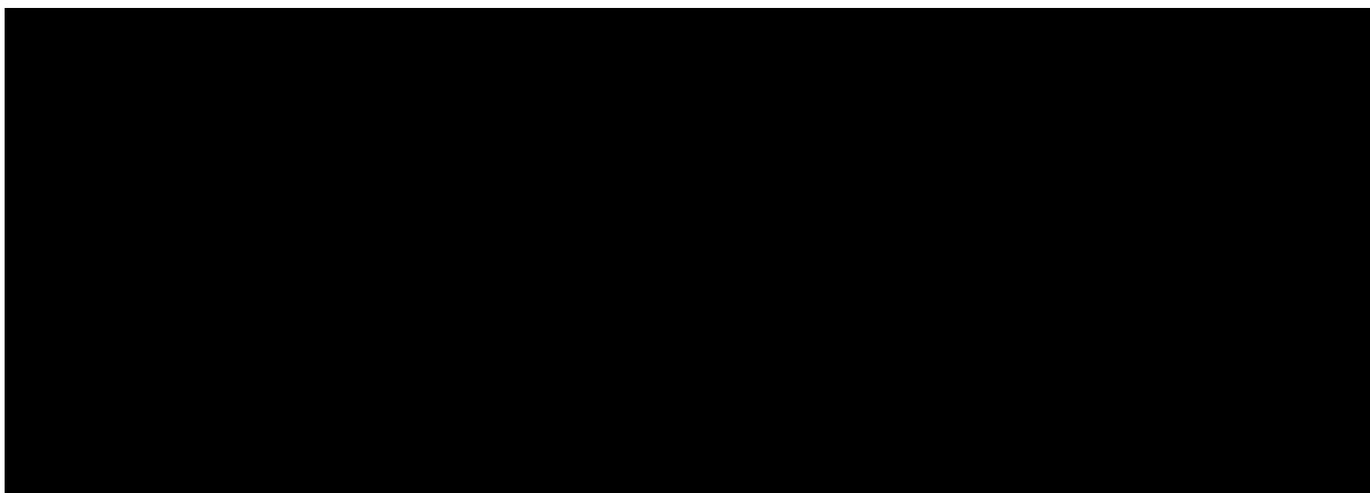
On observe un éclaircissement minime de la plaque après 250h.



Légère coloration, quelques zone noircie mais reviens normal après lessivage.



Légère coloration, quelques zones noircies mais revient normal après lessivage.



De plus, aucun des échantillons ci-dessus n'a subit de dégradation lors de ce test, pas de craquelures ou autre défaut de surface.

Les mesures effectuées sur la taille des échantillons ne montrent aucune variation dimensionnelle subie au cours du test.

7.5 Conclusion

L'essai conduit représente de façon accéléré et intensifiée, le comportement des systèmes face vieillissement climatique. Il n'existe pas de corrélation directe entre le vieillissement artificiel et

le vieillissement naturel. Cependant, les résultats obtenus, ajouté à l'expérience sur le terrain acquise ces dix dernières années, montrent que **les systèmes extérieurs ont une excellente tenue à la fois aux UV et aux intempéries**. Leur couleur n'est que faiblement modifié, et leur structure n'est pas altérée.

8 Dureté Shore D

L'objectif de ce test est d'évaluer la dureté des systèmes de bande podotactile et rail de guidage intérieur et extérieur. Elle est représentative de la souplesse des bandes, ainsi que du comportement de celles-ci lorsqu'un objet est appliqué sur la bande.

8.1 Méthode utilisée, principe

La mesure est adaptée de la norme NF EN 868. Elle est basée sur la déformation d'un ressort en fonction d'un déplacement connu. Ce ressort évalue la résistance à l'indentation sous l'action d'une force donnée.

La mesure de dureté Shore D est utilisée pour les matériaux durs. Elle peut être directement reliée au module d'élasticité de Young (et donc à la souplesse du matériau).

$$S_D = 100 - \frac{20(-78.188 + \sqrt{6113.36 + 781.88E})}{E}$$

Avec S_D la dureté shore D et E le module d'élasticité en MPa.

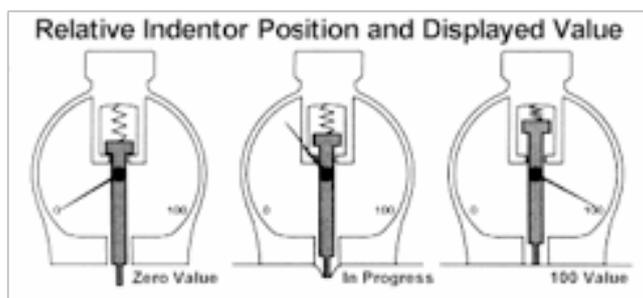
La valeur finale dépend de la profondeur de pénétration du plot d'indentation immédiatement après application de l'appareil et après un temps de 15 secondes. Les valeurs sont échelonnées de 0 (le plot est enfoncé au maximum) à 100 (le plot ne s'enfoncé pas du tout).

8.2 Descriptif de l'appareil

L'appareil utilisé pour la mesure est un Duromètre dont les caractéristiques sont les suivantes :

| dureté | Plot d'indentation | Masse appliquée [kg] | force [N] |
|------------------------|--|----------------------|-----------|
| Dureté shore de type D | poinçon d'indentation : 1.1 mm - 1.4 mm de diamètre, avec une pointe conique de 30°, et de 0.1 mm de rayon à la pointe | 4.550 | 44.64 |

Il est constitué principalement d'un poinçon chargé de pénétrer l'échantillon test. Ce poinçon est relié à un ressort. La déformation de ce ressort est convertie en une valeur de dureté.



8.3 Mesures

Avant l'essai, les échantillons sont mis à température (23°C ou 50°C +/- 2°C) pendant 12h. La mesure est effectuée à 23°C +/- 2°C.

Le coté analysé est le coté visible de l'échantillon.

L'appareil est appliqué sur une surface plane de l'échantillon. Deux mesures sont relevées, une immédiatement après application, une 15 secondes après.

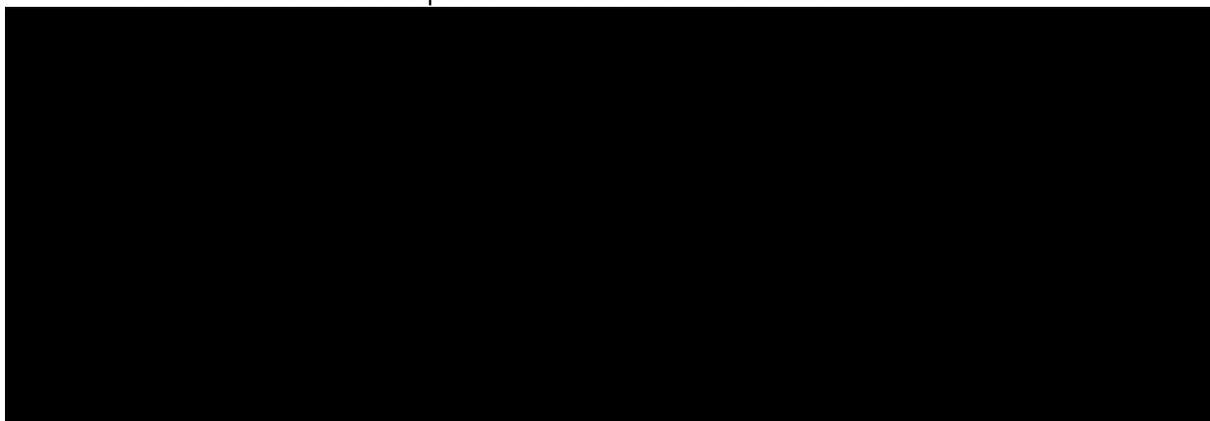
8.4 Résultats

Les valeurs obtenues sont consignées dans le tableau ci-dessous :

| Mesures à 23°C | Mesure immédiate (moyenne) | Mesure à 15 secondes (moyenne) |
|----------------|----------------------------|--------------------------------|
| MMA | 36 | 20 |
| Granité | 61 | 53 |
| PU | 23 | 21 |

| Mesures à 50°C 50% humidité | Mesure immédiate (moyenne) | Mesure à 15 secondes (moyenne) |
|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| MMA | 20 | 13.2 |
| Granité | 31 | 22.2 |
| PU | 18.5 | 18 |

Ci-dessous une échelle comparative de dureté de matériaux connus :



8.5 Conclusion

Les valeurs de dureté obtenues place les bandes podotactiles au même niveau que les semelles de chaussures ou la bande de roulement des pneus. Cette dureté leur permet de **résister à l'usure** et notamment **aux déchirures** dues à la pénétration d'objet sur le dessus de la bande. Cumulé avec les propriétés de souplesse du produit, cela leur confère une **grande longévité**.

9 Stabilité dimensionnelle

L'objectif de ce test est de s'assurer que les différents systèmes ne subissent pas de variation dimensionnelle ou d'autre signe d'usure quand ils sont soumis à des variations de température. La mesure est effectuée sur des bandes podotactiles non collées. Elle est représentative du comportement au cours du temps (retrait, fissuration, écaillage ...)

9.1 Méthode utilisée, principe

L'essai est conduit selon la norme NF P 98-351. Il consiste à placer les échantillons tour à tour dans les conditions suivantes :

- 50°C +/- 2 °C et 65% humidité +/- 10%
- -25°C +/- 2°C

Chaque phase étant précédée et suivie d'une phase à 23°C (+2°C/-4°C).

L'échantillon doit passer au moins 3h dans chaque étape de température

Après chaque période à 23°C, l'échantillon est mesuré (longueur et largeur)

9.2 Mesures :

Dans le tableau ci-dessous sont reportées les valeurs mesurées pour les longueurs des échantillons (moyenne sur 3 mesures):

| Système | Valeurs initiales (cm) | Valeur après le passage à 50°C 65% humidité | Ecart par rapport à l'initiale % | Valeur après le passage à -25°C | Ecart par rapport à la mesure précédente % | Ecart global % |
|---------|------------------------|---|----------------------------------|---------------------------------|--|----------------|
| MMA | 17.55 | 17.55 | 0 | 17.55 | 0 | 0 |
| Granité | 17.35 | 17.35 | 0 | 17.35 | 0 | 0 |
| PU | 17.45 | 17.45 | 0 | 17.45 | 0 | 0 |

Dans le tableau ci-dessous sont reportées les valeurs mesurées pour les largeurs des échantillons (moyenne sur 3 mesures):

| Système | Valeurs initiales | Valeur après le passage à 50°C 65% humidité | Ecart par rapport à l'initiale % | Valeur après le passage à -25°C | Ecart par rapport à la mesure précédente % | Ecart global % |
|---------|-------------------|---|----------------------------------|---------------------------------|--|----------------|
| MMA | 17.5 | 17.5 | 0 | 17.5 | 0 | 0 |
| Granité | 17.35 | 17.35 | 0 | 17.35 | 0 | 0 |
| PU | 17.4 | 17.4 | 0 | 17.4 | 0 | 0 |

Un observation minutieuse à la loupe ne montre aucun défaut d'usure (écaillage, fissuration, faiçage).

9.5 Conclusion

Les échantillons ne présentent aucune variation de dimension au cours des différentes phases du test. Les systèmes intérieurs et extérieurs ont une excellente stabilité dimensionnelle. De plus on n'observe pas non plus de défaut d'usure.

10. Bilan

10.1 Choc

| | | |
|-----------------|------|--|
| Système MMA | 23°C | 50 cm : fissuration 45 cm : fissuration sur la face non visible de la bande 40 cm pas de détérioration |
| | 6°C | >25 cm : cassure nette 20 cm : fissuration 15 cm : fissuration sur la face non visible de la bande 10 cm pas de détérioration |
| Système granité | 23°C | >25 cm : cassure nette 20 cm : fissuration 15 cm : fissuration sur la face non visible de la bande 10 cm pas de détérioration |
| | 6°C | >20 cm : cassure nette 15 cm : fissuration 10 cm : fissuration sur la face non visible de la bande 5 cm pas de détérioration |
| Système PU | 23°C | 50 cm pas de détérioration |
| | 6°C | 50 cm pas de détérioration |

Les systèmes extérieurs (MMA et granité), plus rigides car devant supporter un trafic plus intense et plus exigeants, sont plus sensibles au choc. A des températures ordinaires, ces derniers supportent des chocs de hauteur importante sans dégradation visible.

10.2 Pliure conique

Les deux systèmes extérieurs (MMA) et intérieur (PU) montrent une remarquable souplesse même à des températures très basses.

10.3 Emboutissage

Les deux systèmes MMA (extérieur) et PU (intérieur) subissent l'emboutissage sans être altérés. De plus les bandes conservent une mémoire de forme, 2 comportements:

- Les bandes PU (intérieures) reprennent instantanément leur forme d'origine.
- Les bandes MMA (extérieures) ne reprennent leur forme d'origine qu'au bout de 15 minutes.

10.4 Résistance aux intempéries

Les bandes extérieures blanches et colorées ne présentent qu'une légère coloration et quelques zones noircies mais qui s'élimine après lessivage. Les bandes noires n'ont pas de modifications de teinte, mais quelques traces blanches apparaissent après usure. Aucun des échantillons n'a subi de dégradation (variation dimensionnelle, craquelures ou autre défaut de surface).

Bien qu'il n'existe pas de corrélation directe entre le vieillissement artificiel et le vieillissement naturel, les résultats obtenus, ajouté à l'expérience sur le terrain montrent que les systèmes extérieurs ont une excellente tenue à la fois aux UV et aux intempéries.

10.5 Dureté Shore

