



**Centre de
Technologie
Minérale et de
Plasturgie inc.**

RAPPORT FINAL DU PROJET 629.1

DÉVELOPPEMENT ET EXPÉRIMENTATION DE LA MISE EN PLACE D'UNE MEMBRANE EN POLYMÈRE RECYCLÉ DANS UNE STRUCTURE DE CHAUSSÉE

Présenté au

Service des projets
Direction de l'Île-de-Montréal
Ministère des Transports du Québec (MTQ)

À l'attention de M. Martin Lafleur, ing.

Par

Dr. Abdelaziz Mehamha, responsable du projet

Février 2013

Table des matières

I- Introduction.....	3
II- Caractéristiques recherchées pour la membrane	4
II-1 Température de fusion.....	4
II-2 Coût des polyéthylènes.....	4
II-3 Stabilité dimensionnelle (résistance à la déformation sous charge)...	4
II-4 Durabilité.....	5
II-5 Résistance à la fatigue.....	5
II-6 Perméabilité.....	5
II-7 Résistance chimique.....	6
II-8 Flexibilité et élasticité.....	6
II-9 Résistance à la flexion à basse température.....	6
II-10 Résistance au fluage à haute température.....	7
III- Résumé du rapport d'activité Étape 1.....	7
IV- Résumé du rapport d'activité Étape 2.....	8
V- Conclusion.....	9
VI- Recommandations – Prochaines étapes.....	9
VII- Annexe	10

I- Introduction

L'état des chaussées au Québec constitue une préoccupation majeure pour le ministère des Transports du Québec (MTQ). L'apparition fréquente des fissures sur le réseau routier pousse les responsables du secteur à se pencher davantage sur la recherche de solutions efficaces pour parer à ce problème à moyen et à long terme. Ces fissures sont initiées par des causes qui peuvent être très variées. La compréhension du phénomène de propagation de ces fissures reste du domaine de la recherche même si, quelques fois, certaines solutions sont apportées. Toutefois, leur effet est limité dans le temps. L'apparition des fissures engendre des dégradations majeures au niveau de la chaussée qui génèrent des coûts importants pour l'entretien de cette dernière. Afin de minimiser ce problème lié à la fissuration, des études en génie civil sont entreprises en permanence, afin de comprendre les mécanismes de propagation et de remontée des fissures et de quantifier leur effet sur les structures sous-jacentes.

Le but de ce projet n'est pas de rechercher des solutions contre la remontée des fissures, mais plutôt d'assurer une certaine étanchéité de la structure par l'incorporation d'une membrane synthétique en polymère. Cette membrane synthétique n'a pas directement un effet de renforcement, mais elle permet de prolonger la durée de vie de la chaussée en réduisant les conséquences dommageables de la fissuration et de minimiser l'infiltration de l'eau dans la structure granulaire sous-jacente. Cette membrane doit, par conséquent, jouir de certaines caractéristiques qui lui permettent de s'adapter avec le milieu dans lequel elle sera utilisée (asphalte). De plus, elle doit avoir de bonnes propriétés mécaniques et agir comme barrières de migration à l'eau.

L'objectif principal de ce projet est d'insérer une membrane synthétique à base de polymère dans la structure de la chaussée pour empêcher les infiltrations dans les structures plus profondes de la chaussée. Les matériaux de la fondation seront ainsi protégés contre d'éventuelles infiltrations de l'eau et pourront ainsi mieux résister aux conditions climatiques extrêmes du Québec.

Le mandat du CTMP consiste à :

- Étape 1 : Faire une revue bibliographique sur les membranes actuellement disponibles sur le marché et utilisées à des fins d'imperméabilisation en construction routière
- Étape 2 : Réaliser des analyses en laboratoire sur certains types de membranes ciblées

Les résumés de rapports des étapes 1 et 2 sont donnés dans ce qui suit (III et IV)

II- Caractéristiques recherchées pour la membrane

II-1 Température de fusion

Les membranes à base de polyéthylène haute densité (PEHD) s'adaptent bien au processus de mise en contact avec l'enrobé bitumineux. Lors de la pause, le bitume atteint généralement la température maximale de 150°C, à cette température le PEHD se trouve à l'état ramolli et ne subit pas de dégradation au contact du bitume. Cet état de ramollissement lui confère une certaine souplesse qui lui permet d'épouser des formes irrégulières et de bien s'étaler sur le support.

II-2 Coût des polyéthylènes

Les polyéthylènes en général font partie de la catégorie des polymères dits « de grand tonnage ». Leur utilisation en grande quantité et dans des applications très diversifiées fait que leurs coûts sont moins importants que les autres catégories de polymères. Le PEHD issu de la récupération est aussi disponible sur le marché des plastiques recyclables cependant le degré de pureté (absence de contaminants) dépend fortement d'un fournisseur à un autre.

II-3 Stabilité (résistance à la déformation sous charge)

Dans une chaussée, chacune des couches doit être en mesure de supporter, sans déformation excessive, les contraintes qui lui sont transmises. À ce chapitre, la résistance à la traction de l'enrobé bitumineux est d'environ 6 MPa. Les tests de

résistance à la traction effectués sur les membranes à base de PEHD recyclé (voir rapport Étape 2 en annexe) montrent que celles-ci supportent des sollicitations maximales qui varient entre 11 et 30 MPa selon le type de membrane. De ce fait les membranes à base de PEHD sont largement qualifiées pour être utilisées en génie civil et particulièrement dans la construction des routes et des chaussées.

II-4 Durabilité

Les technologies actuelles permettent d'augmenter, de façon appréciable, la durée de vie des géomembranes à base de PEHD grâce au développement de nouveaux additifs. Plusieurs approches théoriques, fondé sur l'extrapolation d'essais accélérés de vieillissement au laboratoire, tendent à montrer que la durée de vie d'une géomembrane PEHD peut excéder 100 ans dans des conditions normales d'utilisation. Cependant, il importe de tenir compte de la raideur relative ainsi que la stabilité dimensionnelle vis-à-vis des variations de températures pour le dimensionnement et la mise en œuvre des membranes. Un savoir-faire particulier pour les géomembranes PEHD est fortement requis lors de l'assemblage (soudure).

II-5 Résistance à la fatigue

Le polyéthylène haute densité (PEHD) est un polymère qui résiste bien aux sollicitations mécaniques répétées (fatigue). Grâce à sa basse température de transition vitreuse (-140°C à -100°C) et aux progrès réalisés dans le domaine des additifs, le PEHD peut résister de manière appréciable aux phénomènes de fissuration sous contrainte.

II-6 Perméabilité

L'objectif de ce projet de recherche était de prévenir l'infiltration d'eau provenant de la surface de la chaussée. Or, une des principales qualités des polyéthylènes est précisément leur bonne aptitude à l'imperméabilité vis-à-vis de l'eau. Le taux d'absorption de l'eau pour ce type de matériau est de 0,01 %, ce qui constitue une excellente barrière à l'infiltration et le qualifie pour une éventuelle utilisation en tant que membrane d'imperméabilisation dans les chaussées.

II-7 Résistance chimique

Les membranes en PEHD ont, en général, une bonne tenue chimique dans les applications courantes. Elles résistent aux sels, aux acides et aux alcalis en solutions aqueuses diluées. De nombreux solvants peuvent être acceptés jusqu'à 50°C. Le polyéthylène possède l'une des meilleures tenues chimiques de l'ensemble des matières synthétiques.

II-8 Flexibilité et élasticité

Le polyéthylène haute densité (PEHD) présente une bonne ductilité comparativement aux autres polymères utilisés comme géomembrane. Celle-ci lui permet d'absorber sans dommages les impacts, les vibrations et les contraintes causées par le sol. Sa souplesse lui confère un très bon comportement lors des phases de gel et de dégel. Les résultats de test mécaniques (rapport Étape 2, voir en annexe) montrent que la membrane «Greatvision», par exemple, exhibent une déformation à la rupture qui atteint la valeur de 600% de la longueur initiale de l'éprouvette avant de se rompre.

II-9 Résistance à la flexion à basse température

Le PEHD résiste bien aux sollicitations mécaniques en flexion à basse température. Les essais réalisés au moyen d'un DMA en mode de flexion entre -40°C et +40°C montre un palier presque constant de variation du module de perte (voir rapport Étape 2, en annexe). Ceci montre que la membrane de PEHD s'adapte bien aux changements de température (gel/dégel) et ne présente pas de sensibilité majeure aux chocs thermiques.

II-10 Résistance au fluage à haute température

Le PEHD possède une plage d'utilisation (*maximum service temperature*) qui se situe entre 40°C et 70°C, au-delà de cette plage, le polymère a tendance à ramollir ce qui a pour effet de perdre un peu de ses propriétés mécaniques et en particulier la rigidité. Étant donné que la membrane ne sera pas au contact direct avec la surface extérieure, le risque de voir celle-ci perdre de ses propriétés de résistance au fluage pendant les

journées chaudes d'été est négligeable, surtout si la profondeur d'enfouissement de la membrane se situe aux alentours de 50 à 70mm.

III- Résumé du rapport d'activité – étape 1

L'étape 1 du projet revêtait un caractère exploratoire, elle consistait à faire une étude de prospection des différentes membranes disponibles sur le marché actuel et potentiellement utilisables à des fins d'imperméabilisation en construction routière. L'étude a permis de mettre en revue six types de membranes comme convenu initialement dans le projet. Les membranes revues sont :

- EUROVIA : FLEXIPLAST®
- CRAFCO : PAVEPREP ET GEOTAC
- 6D SOLUTIONS : CIDEX ET ROTAFLEX
- YIXING SHENDZHOU EARTH WORKING MATERIAL CO : GREATVISION
- POLY-DIFFUSION : POLY-DIFFUSION : MATACRYL
- OWEN CORNING : TRUPAVE
- SOPREMA : ANTIROCK

Les descriptions ainsi que les caractéristiques techniques de ces membranes sont disponibles en annexe.

Il en ressort, d'après cette étude, que les caractéristiques techniques ainsi que les composants des différents types de membranes sont très variées ce qui rend difficile de les comparer entre elles. Cependant, l'étude a permis de mieux voir les potentialités de chacune de ces membranes en fonction de l'application qui lui est destinée. Les principales caractéristiques de ces membranes ont été revues et les caractéristiques techniques mentionnées dans des tableaux (voir rapport Étape 1, en annexe). L'objectif principal de cette étude était de mettre en évidence les potentialités des membranes à base de polymères comme matériaux susceptibles d'apporter un plus dans le processus d'imperméabilisation des structures des chaussées tout en ayant les capacités requises (température de fusion, résistance physique et chimique etc.) pour permettre une incorporation « sans problème » avec les différents composants nécessaires pour le pavage des routes en l'occurrence le bitume, l'asphalte et le gravier.

IV- Résumé du rapport d'activité – étape 2

La deuxième étape du projet consistait à évaluer les propriétés physico-chimiques de certains types de membranes décrites dans la première étape en effectuant les tests appropriés pour l'utilisation de ces membranes. Cependant et faute d'indisponibilité d'échantillons, seules deux types de membranes (Yixing Shendzou Earth Working Material et Soprema) identifiées à l'étape 1 ont été analysées en laboratoire. Afin d'augmenter le champ d'investigation des membranes à base de polymère recyclé, d'autres membrane ont été rajoutées dont deux, à base de PEHD recyclé fabriquées au CTMP et provenant de deux groupes de recyclages des matières plastiques au Québec (RPM et RCM) ainsi qu'une autre membrane à base de caoutchouc recyclé provenant de la compagnie DeltaGomma.

Les différents types de tests effectués sont :

- Test de résistance à la traction
- Test de résistance thermomécanique à la flexion (DMA)
- Test de mesure de la densité apparente
- Test de perméabilité à l'eau
- Test de dureté
- Test de résistance à la déchirure
- Test de résistance à la fissure sous charge (NCLS)

Les résultats des différents tests sont présentés en détails dans le rapport de l'étape 2 (voir Annexe).

Comme conclusion, il en ressort que la membrane Greatvision (YIXING SHENDZHOU EARTH WORKING MATERIAL CO., LTD) présente les meilleures performances pour une éventuelle utilisation en tant que membrane destinée à l'imperméabilisation des chaussées.

V- Conclusion

Au terme de cette étude, plusieurs points ont été soulevés :

- Le CTMP a été dans l'impossibilité de mettre en évidence les performances techniques de la membrane FLEXIPLAST® (Eurovia) tel que souhaité par le MTQ. Le CTMP n'a pas été en mesure d'obtenir des échantillons pour caractérisation malgré plusieurs demandes auprès du fabricant.
- Les tests de caractérisation ont permis de faire certaines comparaisons des membranes retenues avec la membrane Soprema utilisée sur les tabliers des structures au Québec.
- Les membranes développées au CTMP et émanant de deux recycleurs du Québec ont suscité de l'intérêt vu leur disponibilité et leur prix très concurrentiel. Cependant les performances, surtout mécaniques, doivent être améliorées pour répondre aux critères MTQ.
- Les résultats des tests de la membrane Greatvision se rapprochent des valeurs du PEHD vierge et répondent en tout point aux critères désirés par le MTQ.

VI- Recommandations – Prochaine étapes

Si le MTQ désire poursuivre ce projet de recherche, le CTMP recommande de :

- Réaliser des tests complémentaires sur la membrane Greatvision à base de PEHD recyclé afin de s'assurer du bon comportement de celle-ci lorsqu'elle sera mise en place dans des conditions réelles prévues à cet effet. Les tests recommandés sont :
 - Essais d'orniérage (Laboratoire du MTQ)
 - Essais de résistance en tension et en cisaillement cyclique (Laboratoire ETS)
 - Essais de mesure de l'adhésion des couches (Laboratoire du MTQ)
 - Essais de gel-dégel
- Procéder à un essai in-situ et de suivi des performances
- Développer d'une membrane fabriquée au Québec

VII- Annexes : Rapports d'activités (étape 1 et étape 2)



**Centre de
Technologie
Minérale et de
Plasturgie inc.**

RAPPORT D'ACTIVITÉS (1^{ère} étape)

DÉVELOPPEMENT ET EXPÉRIMENTATION DE LA MISE EN PLACE D'UNE MEMBRANE EN POLYMÈRE RECYCLÉ DANS UNE STRUCTURE DE CHAUSSÉE

Présenté au

Service des projets
Direction de l'île de Montréal
Ministère des Transports du Québec (MTQ)

À l'attention de M. Martin Lafleur, ing.

Par
Abdelaziz Mehamha, responsable du projet

Mai 2012

I- Avant-propos

L'état des chaussées au Québec constitue une préoccupation majeure pour le ministère des Transports du Québec (MTQ). L'apparition fréquente des fissures sur le réseau routier pousse les responsables du secteur à se pencher davantage sur la recherche de solutions efficaces pour parer à ce problème à moyen et à long terme. Ces fissures sont initiées par des causes qui peuvent être très variées. La compréhension du phénomène de propagation de ces fissures reste du domaine de la recherche même si, quelques fois, certaines solutions sont apportées. Toutefois, leur effet est limité dans le temps. L'apparition des fissures engendre des endommagements majeurs au niveau de la chaussée qui génèrent des coûts importants pour l'entretien de cette dernière. Afin de minimiser ce problème lié à la fissuration, des études en génie civil sont entreprises en permanence, afin de comprendre les mécanismes de propagation et de remontée des fissures et de quantifier leur effet sur les structures sous-jacentes.

Le but de ce projet n'est pas de rechercher des solutions contre la remontée des fissures, mais plutôt d'assurer une certaine étanchéité de la structure via l'incorporation d'une membrane synthétique à base de polymère. Cette membrane synthétique n'a pas directement un effet de renforcement, mais elle permet de prolonger la durée de vie de la chaussée en réduisant les conséquences dommageables de la fissuration et de minimiser l'infiltration de l'eau dans la structure granulaire sous-jacente. Cette membrane doit, par conséquent, jouir de certaines caractéristiques qui lui permettent de s'adapter avec le milieu dans lequel elle sera utilisée (asphalte). De plus, elle doit avoir de bonnes propriétés mécaniques et agir comme barrières de diffusion à l'eau.

II- Objectif

L'objectif principal de ce projet est d'insérer une membrane synthétique à base de polymère dans la structure de la chaussée pour empêcher les infiltrations dans les structures plus profondes de la chaussée. Les matériaux de la fondation seront ainsi protégés contre d'éventuelles infiltrations de l'eau et pourront ainsi mieux résister aux conditions climatiques extrêmes du Québec.

La Direction de l'environnement et de la recherche au niveau du MTQ a demandé au CTMP de faire une revue sur les membranes actuellement disponibles commercialement et utilisées à des fins d'imperméabilisation en construction routière. Le présent rapport constitue la première étape du projet et résume plusieurs types de membranes disponibles sur le marché qui visent la prolongation de la durée de vie des chaussées.

III- Membranes disponibles commercialement

A- EUROVIA : FLEXIPLAST®

A-1 Description

Le principe d'utilisation de ces membranes est fondé sur le découplage des couches. On utilise un complexe bicouche composé d'une membrane épaisse en bitume fortement modifié par un polymère et d'un enrobé coulé à froid (Gripfibre®) [1]. La membrane polymère utilisée dans ce cas contient un liant très élastique qui pourrait s'adapter aux ouvertures créées par les fissures même à basse température. La membrane Flexiplast® est essentiellement employée pour l'entretien des chaussées semi rigides et rigides en béton ayant subies des fissurations prononcées. Ce procédé connaît beaucoup de succès de par sa capacité de prolonger la durée de vie des chaussées en limitant la propagation des fissures.

Le type de polymère utilisé dans ce complexe est un élastomère thermoplastique de type SBS (copolymère segmenté alternant des séquences butadiène et styrène, dans le cas d'un copolymère de type tribloc). Le mélange à l'état fondu est répandu sur la chaussée avec un dosage adapté à l'état de fissuration du support. Un enrobé, coulé à froid, gripfibre® vient alors s'ajouter à la membrane qui assurera la protection de cette dernière, selon un dosage approprié.



Des tests d'évaluation de la capacité de la membrane à s'opposer à la remontée des fissures ont été réalisés en laboratoire et ont permis de mettre en évidence la performance de la membrane Flexiplast®. Celle-ci ralentit la fissuration même pour l'ouverture maximale (7mm) de la fissure autorisée par le matériel d'essai. Des éprouvettes ayant subi l'essai de retrait-flexion ont montrés qu'elles conservent leur étanchéité même après fissuration de la couche de roulement [1].

Ce procédé semble avoir des atouts pour les utilisations suivantes [1]:

- Une utilisation de type entretien curatif des chaussées fissurées;
- Une application possible sur tous les types de structures de chaussée;
- Un procédé adapté à tous les trafics;
- Une solution préventive contre le phénomène de fissuration.

A-2 Caractéristiques techniques

- Pénétrabilité à 25 °C (EN 1426) : ≥ 70 mm/10
- Température de ramollissement bille et anneau (EN 1427) : ≥ 80 °C
- Point de fragilité Fraass (EN 12593) : ≤ -17 °C
- Traction directe à -10 °C et à 10 mm/min (EN 13587)
- Contrainte à la rupture : ≤ 2 MPa
- Allongement à la rupture : ≤ 400 %

[1] Documentation technique, Flexiplast, Eurovia

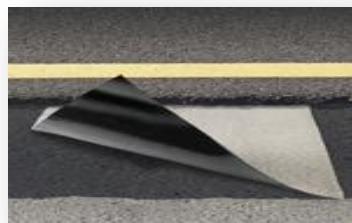
B- CRAFCO™

B-1 Description :

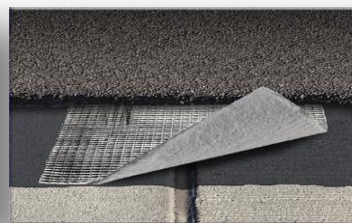
Les membranes géocomposites Crafcro™ sont utilisées pour limiter les remontés des fissures vers la bande d'enrobé tout en diminuant, au mieux, l'infiltration de l'eau. Crafcro dispose de deux types de membranes :

- i) La membrane « Pave-Prep » : C'est une membrane composée d'un mélange bitumineux de haute densité laminé avec un polyester tissé. Ce type de membrane est utilisé pour le renforcement des chaussées et autoroutes soumises à des charges importantes du trafic routier. Grâce à la densité et à la flexibilité du mélange bitumineux, les contraintes liées à l'expansion et à la contraction thermique de la chaussée sont dispersées. Ce qui diminue la propagation des fissures. Cette membrane possède aussi de bonnes propriétés en matière d'étanchéité grâce aux tests de déroulements effectués [2].
- ii) La membrane « Geo-Tac » : C'est une membrane composée de mélange bitumineux de haute densité modifié par un élastomère (SBS) appliqué sur un géotextile à base de polyester non tissé. Ce type de membrane confère à la structure un maximum d'étanchéité et constitue une vraie barrière à l'humidité en empêchant l'eau de pénétrer et ainsi préserver la structure d'éventuels endommagements.

Pav-Prep



Geo-Tac



B-2 Caractéristiques techniques



CRAFCOTM INC
AN ERGON COMPANY

420 N. Roosevelt Ave. • Chandler AZ 85226
1-800-528-8242 • (602) 276-0406 • FAX (480) 961-0513
www.crafco.com

PRODUCT DATA SHEET
PAVEPREP

PART NO. 33242, 33244, 33246, 33248, 33249, 33253

OCTOBER 2009

READ BEFORE USING THIS PRODUCT

GENERAL PavePrep is a heavy duty, high strength pavement repair geo composite membrane used to reinforce and waterproof pavement cracks and joints, reduce reflective cracking of asphalt concrete overlays, and as heavy duty bridge deck water proofing membrane. PavePrep is composed of a flexible, high density asphalt mastic bitumen between a top layer of heat resistant, high strength woven polyester reinforcing fabric and a bottom layer of non-woven heat resistant polyester fabric. PavePrep is supplied in several widths in 50 ft. lengths and is wound on rolls. To use, PavePrep is unrolled onto prepared pavement surfaces into an application of bonding adhesive which saturates and adheres PavePrep to the surface. PavePrep is then pressure rolled to secure in place. The asphalt concrete overlay is then placed. PavePrep can be used to reinforce many discontinuities in both asphalt and concrete pavements, including transverse and longitudinal cracks and joints, utility cuts, construction joints and previously repaired areas. The PavePrep polyester fabrics are resistant to asphalt concrete pavement overlay temperatures up to 350°F (177°C) and hot-applied sealing mastic application temperatures up to 375°F (191°C).

SPECIFICATION CONFORMANCE PavePrep meets specification requirements of most state highway departments for heavy duty reflective crack control and waterproofing membrane. Specification requirements are as follows:

Property*	Test Method	Requirement
Thickness	ASTM D1777	0.135" (3.4 mm) min.
Weight		0.8 lb/sf (3.7 kg/m ²) min.
Mastic Density	ASTM D70	80 PCF (1.28g/cc) min.
Cold Flexibility	ASTM D146 (modified)	Pass at 32°F (0°C)
Tensile Strength	ASTM D412, Die C	2000 psi (13.3MPa) min.
Elongation	ASTM D412, Die C	20% min.
Brittleness	ASTM D517	Pass
Heat Stability	2" x 5" (5.1 x 12.7 mm) specimen hung vertically for 2 hr at 190°F (88°C)	No dripping or delamination
Mastic Softening Point	ASTM D36	210°F (99°C) min.
Puncture Resistance	ASTM E154	450 lb (2202N) min.
Absorption	ASTM D517	1% max.
Thickness Retention	ASTM D395 (modified)	75% min.

*Note: Sampling in accordance with ASTM D146.



CRAFCOTM INC
AN ERGON COMPANY

420 N. Roosevelt Ave. • Chandler AZ 85226
1-800-528-8242 • (602) 276-0406 • FAX (480) 961-0513
www.crafco.com

PRODUCT DATA SHEET
GEOTAC

PART NO. 33215, 33217, 33219, 33220, 33222

OCTOBER 2009

READ BEFORE USING THIS PRODUCT

GENERAL GeoTac is a peel-and-stick waterproofing membrane that is used in paving, bridge decks, waterproofing and other construction applications where moisture barriers are required. GeoTac is composed of a specially designed polymer modified asphalt waterproofing membrane adhesive that is bonded to a non-woven polypropylene fabric backing. GeoTac is supplied in several widths and is wound in rolls with a removable disposable release liner covering the adhesive. The adhesive layer strongly adheres to most surfaces and provides a highly effective moisture barrier. The non-woven fabric backing provides a non-adhesive, flexible, tough and durable surface that protects the waterproofing adhesive layer from subsequent paving or other construction operations. To use, GeoTac is simply removed from box, unrolled onto prepared surfaces while removing the release liner, and then pressure rolled to secure in place. GeoTac is ideally suited for various waterproofing applications including highways, bridge decks, pavement cracks and joints, parking garages and deck surfaces prior to placement of asphalt concrete overlays or other surfacing types. The GeoTac fabric backing is resistant to asphalt concrete pavement overlay temperatures up to 300°F (149°C), and hot-applied sealing mastic application temperatures up to 350°F (177°C).

SPECIFICATION CONFORMANCE GeoTac meets specification requirements of most state highway departments for waterproofing membranes for pavements or bridges. The specification for GeoTac is as follows:

Property*	Test Method	Requirement
Thickness	ASTM D1777	0.065" (1.65mm) min.
Grab Tensile Strength	ASTM D4632	50 lb (224 N) min.
Elongation	ASTM D4632	50% min.
Puncture Resistance	ASTM E154	200 lb (896 N) min.
Permeability	ASTM E96, Method B	0.10 US perms max.
Pliability	ASTM D146 (modified)	Pass at -25°F (-31.7°C)
(1/4" (6.35 mm) mandrel, 180° bend, 2 seconds)		

*Note: Sampling in accordance with ASTM D146

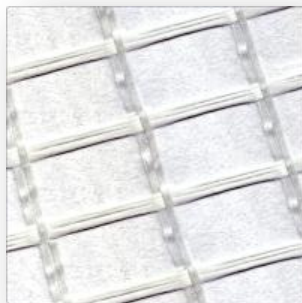
C- 6D SOLUTIONS

6D Solutions est une compagnie qui conçoit, développe et commercialise des produits destinés au renforcement des enrobés (béton bitumineux) ainsi que des membrane à base de grilles en fibres de verre enduite destinées au traitement de l'apparition et la remontée des fissures dans les routes.

C-1 Les produits de 6D solutions :

- i) **CIDEX[®]** : Grilles en fibre de verre enduites de résine spécifique à maille ouverte en association avec un polyester non tissé.
- ii) **ROTAFLEX[®]** : Grilles en fibre de verre enduites de résine spécifique à mailles ouvertes ou fermées en association avec un polyester non tissé d'un poids supérieur à 60 g/m².

ROTAFLEX[®]



CIDEX[®]



L'efficacité du système de renforcement d'enrobé, d'après 6D Solutions, est subordonnée à trois conditions nécessaires :

1. Une couche d'émulsion de bitume, de bonne qualité et à un dosage défini;
2. Une grille en fibre de verre, avec des résistances mécaniques, un module d'élasticité et une ouverture de maille appropriée;
3. Une bonne mise en œuvre, suivant les règles de l'art, afin qu'il y ait collage du nouvel enrobé sur le support avec le renfort intégré.

D'autres recommandations en relation avec la préparation de la chaussée et la procédure d'utilisation des produits de renforcements sont disponibles sur le site de la société.

C-2 Domaines d'applications :

Les produits de 6D Solutions sont utilisés dans les chaussées souples, rigides, semi-rigides et les élargissements :

- i) **Chaussées souples** : La problématique, dans ce cas, consiste en un mouvement de flexion du fait d'un sous-dimensionnement, de la faiblesse du sol support et de l'augmentation du trafic. Dans les cas extrêmes, la fatigue de la structure se traduit par un affaissement avec un grand rayon de courbure [3]. Une des solutions préconisée par 6D Solutions est de diminuer les épaisseurs d'enrobé de manière significative et ainsi régler des problèmes de seuils ou de points singuliers. Un gain de 1/3 sur l'épaisseur totale de la structure peut être obtenu [1].
- ii) **Chaussées rigides et semi-rigides** : La problématique pour ce type de chaussées est l'ouverture et la fermeture des fissures du fait des variations thermiques.

Selon 6D Solutions, il existe deux manières de traiter ce problème :

1. **Renforcement de la base de l'enrobé** : Ceci est réalisable par la mise en place du renfort de type grille de verre (Rotaflex®) approprié avec le Cidex®. Grâce à son module d'élasticité très supérieur à celui de l'enrobé, le renfort sera en mesure de supporter les contraintes du fait des mouvements. Cependant, la grille du renfort doit avoir une maille suffisamment ouverte pour assurer un passage de l'enrobé à travers cette dernière. L'épaisseur de la couche d'enrobé appliquée dépend des amplitudes thermiques entre l'été et l'hiver.
2. **Création d'un plan de glissement** : Celui-ci se situe entre la partie fissurée et le nouvel enrobé. Le Rotaflex® 816 doit garantir l'épaisseur du bitume. Les mailles de la grille sont serrées pour que le granulat ne passe pas au travers. La grille renforce la membrane bitumineuse. Ce procédé permet de ralentir la remontée des fissures et aussi d'apporter une certaine étanchéité à la chaussée [3].

Le traitement de la chaussée, dans tous ces cas, dépend des paramètres suivants :

- Type de fissure
- Type de mouvements de la chaussée
- Conditions climatiques
- Mise en œuvre
- Qualité des matériaux

C-3 Caractéristiques techniques :

Qualité		Résistances Mécaniques «selon normes sur géosynthétique ISO 10319»		Allongement à la rupture	Ouverture de maille : mm (Entraxe)	
		long. KN/m	trans. KN/m			
Cidex® 50 S1 - 50 SB		50	50	< 4%	40 x 40	
Cidex® 100 SB		100	100	< 4%	40 x 40	

Qualité Cidex®	Qualité Rotaflex®		Résistances Mécaniques «ISO 10319»		Allongement à la rupture	Ouverture de maille : mm (Entraxe)	Principe
			long. KN/m	trans. KN/m			
	816 SL	Grille	10	10	< 4%	5 x 5	2
		Non-tissée	2	2	> 25%	> 25%	
50 S1 - 50 SB	830 SL		50	50	< 4%	40 x 40	1
100 SB	838 SI		100	100	< 4%	40 x 40	1

Qualité	Résistances Mécaniques «ISO 10319»		Allongement à la rupture	Ouverture de maille : mm	Principe
	long. KN/m	trans. KN/m			
Cidex® 20 100 S	20	100	< 4%	30 x 40	1
Cidex® 100 SB	100	100	< 4%	40 x 40	1
Rotaflex® 816 SL	10	10	< 4%	5 x 5	2
	2	2	> 25%		

Quelques exemples de réalisations de 6D Solutions



D- YIXING SHENDZHOU EARTH WORKING MATERIAL CO., LTD

Yixing Shendzhou Earth Working Material est un fabricant de membranes géosynthétiques à base de polymère et de membranes « géogrid » biaxiales à base de fibres de verre et de polyester. Les membranes « géogrid » sont enduites de différentes résines polymères tels que PVC, PP et PEHD. Les produits Shendzhou sont utilisés pour le renforcement des chaussées, le drainage et la protection contre l'érosion. Les produits de Shendzhou ont reçu aussi la certification ISO 9001.

La membrane de PEHD Greatvison, à titre d'exemple, est utilisée pour la protection de plusieurs ouvrages en génie civil entre autre les routes, les autoroutes et les sites d'enfouissements. Grâce à ses propriétés en matière d'étanchéité, ces membranes sont souvent utilisées pour l'isolation des structures. Elles évitent les infiltrations de différents médias (eau, graisse, carburant, etc.).

Caractéristiques techniques de la membrane Greatvison

no.	properties							
1	thickness	ASTM D 5199	mm	0.75	1	1.25	1.5	2
2	density	ASTM D 1505	g/cm ³ , min.	0.939	0.939	0.939	0.939	0.939
3	tensile strength at yield	ASTM D 6693	kN/m, min.	11	15	18	22	29
4	tensile strength at break	ASTM D 6693	kN/m, min.	20	27	33	40	53
5	elongation at yield	ASTM D 6693	%, max.	12	12	12	12	12
6	elongation at break	ASTM D 6693	%, max.	700	700	700	700	700
7	tear resistance	ASTM D 1004	N	93	125	156	187	249
8	puncture resistance	ASTM D 4833	N	240	320	400	480	640
9	environment stress cracking resistance	ASTM D 5397	hr	300	300	300	300	300
10	carbon black content	ASTM D 1603	%	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3
11	oxidation induction time (OIT)	ASTM D 3895	minute	100	100	100	100	100
12	low temperature(-70°C) impact brittle	ASTM D 2136		pass	pass	pass	pass	pass
13	stream hydraulic conductivity		g.cm/(cm ² .s .Pa), max.	1x10 ⁻¹³	1x10 ⁻¹³	1x10 ⁻¹³	1x10 ⁻¹³ 3	1x10 ⁻¹³
14	dimension stability after storage 1h/100°C	ASTM D 1204	%, max.	2	2	2	2	2

E- POLY-DIFFUSION

Poly-diffusion est une firme spécialisée dans les revêtements de sols sans joints. Ses produits sont censés protéger les supports contre tout dommage résultant d'un trafic intense, de chargements lourds, du versement de carburant ou d'hydrocarbures et de noires de caoutchouc. Poly-Diffusion fabrique une large gamme de produits destinés pour diverses applications. Dans ce rapport, nous avons retenu uniquement le produit ayant une relation directe avec les ouvrages de génie civil, en l'occurrence la membrane MATACRYL.

E-1 Description de MATACRYL :

Matacryl Machine est une membrane étanche efficace à 100 % qui offre l'opportunité de protéger sa conception à l'aide d'un système non dégradable sans joint à la fois robuste et souple. Cette membrane est constituée de résine acrylique modifiée par du polyuréthane à durcissement rapide qui résiste aux huiles, graisses, solutions salines et acides inorganiques dilués. L'absence de joints vulnérables constitue une solution idéale pour protéger les ouvrages en béton et en tôle dans les constructions de génie civil lourd [6].

E-2 Domaines D'application :

- Pont-rail
- Tranchées couvertes
- Viaducs
- Tabliers de ponts
- Ponceaux
- Poutres de rives



E-3 Propriétés :

- Délai d'exécution rapide;
- Résistance élevée aux agents chimiques, abrasion, choc et usure mécanique;
- Grandes plages de températures d'applications (-30°C à 35°C).

E-4 Caractéristiques techniques :

MATACRYL[®] MACHINE Propriétés techniques

Propriétés physiques	Méthode d'essai	Institut d'essai	Valeur
Adhésion au béton	N FP 98 282	CETE Laboratoire, France	3,4 MPa - rupture dans le béton
Capacité d'antifissuration	BPG für Beschichtungen	Université Techn. Munich, Allemagne	A 23°C, 2,4 mm d'épaisseur - 8 mm A 0°C, 2,1 mm d'épaisseur - 6,5 mm A -20°C, 2,7 mm d'épaisseur - 8,8 mm
Résistance à la perforation dynamique	ETAG 005 Part 1 No. 5, 3, 3, 2, 2 TR 000	Polymer Institut, Allemagne	A 0,5 mm I3 A 1,5 mm I4
Résistance au poinçonnement statique	ETAG 005 Part 1 No. 5, 3, 3, 2, 2 TR 007	Polymer Institut, Allemagne	A 0,5 mm L3 A 1,5 mm L4
Résistance à la perforation dynamique sous ballast ferroviaire	SNCF Méthode	SNCF Laboratoire, Vitry-sur-Seine	Conforme à la spécification d'absence de perforation de la membrane après 2 millions de cycles de charge
Elasticité au rebond	DIN 53512	Polymer Institut, Allemagne	23,3 %
Dureté Shore A	N FP 98 285	CETE Laboratoire, France	60 IRHD (1 heure après application) 85 IRHD (3 heures après application)
Abrasion de Taber, charge 100 g. rouleau CS 10	ISO 7784-2	Polymer Institut, Allemagne	55,7 mg après 500 tours 63,9 mg après 1000 tours
Résistance à la traction à -20°C	ISO 527	Polymer Institut, Allemagne	24 MPa / 107% elongation
Module à 100% d'allongement	ISO 527	Alteco Technik GmbH, Allemagne	2,31 MPa
Module à 300% d'allongement	ISO 527	Alteco Technik GmbH, Allemagne	4,22 MPa

F- SOPREMA

Soprema a développé plusieurs produits destinés à assurer un maximum d'étanchéité des infrastructures en génie civil. La gamme des produits ANTIROCK est celle qui offre la meilleure imperméabilisation des structures avec un résultat optimal. Elle assure une meilleure protection du béton structural contre la corrosion causée, principalement, par l'eau et le sel de déglacage [7].

F-1 Description de la gamme ANTIROCK :

La gamme comporte un choix de membranes thermofusibles, d'apprêts et de complément d'étanchéité. Ce type de membrane thermofusible est fait à base de bitume modifié avec un élastomère (SBS) avec une surface granulée. Les apprêts utilisés conditionnent les surfaces de béton et de métal pour favoriser l'adhésion des membranes thermofusibles Antirock [7].



F-2 Domaines D'application :

- Stationnements
- Ponts
- Infrastructure de génie civile

F-3 Propriétés :

Une fois mise en place, Les membranes Antirock, peuvent être recouvertes d'asphaltes vu qu'elles peuvent résister facilement à des températures aussi élevées que 140°C (soit la température du fondu d'asphalte). De plus, les membranes ANTIROCK résistent très bien au

poinçonnement et le risque d'abimer la couche d'étanchéité avec des véhicules et équipements de pavage est écarté. Les autres qualités des membranes ANTIROCK sont [7]:

- Grande élasticité
- Facilité d'installation
- Étanchéité supérieure

F-4 Caractéristiques techniques :

Propriétés	Normes	ANTIROCK	
Épaisseur (mm)	-	4,5	
Conditionnement (m)	-	8 x 1	200 x 1
Poids d'un rouleau (kg)	-	45	1150
Face supérieure	-	Granules	
Sous-face	-	Film plastique thermofusible	
Armature	-	Polyester non-tissé	
Stockage	-	Debout sur palette	
Résistance à la déformation, L/T (kN/m)	CAN/CGSB-37.56-M 9 ^{ième} ébauche	9,0 / 7,0	
Résistance à la traction, L/T (kN/m)	CAN/CGSB-37.56-M 9 ^{ième} ébauche	17 / 12,5	
Allongement à la rupture, L/T (%)	CAN/CGSB-37.56-M 9 ^{ième} ébauche	60 / 65	
Souplesse à froid (°C)	CAN/CGSB-37.56-M 9 ^{ième} ébauche	-30	
Résistance au poinçonnement statique (N)	CAN/CGSB-37.56-M 9 ^{ième} ébauche	400	

[7] Documentation technique, Soprema

G- OWEN CORNING

G-1 Description de TruPave[®] :

Parmi les divers produits de la compagnie Owen Corning en matière d'étanchéité, on trouve la membrane TruPave, celle-ci est constituée d'un renfort hybride fibre de verre/mat de polyester. Grâce aux technologies innovatrices utilisées par la compagnie, ce type de produit connaît un succès très apprécié dans la protection des chaussées contre les fissures permettant ainsi d'augmenter la durée de vie des chaussées. Si les fibres de verre assurent une meilleure cohésion de la structure en lui conférant une meilleure résistance à la traction, le mat de polyester, quant à lui, permet, lorsqu'il est saturé par le ciment d'asphalte, de créer une barrière à l'eau monolithique et limite ainsi l'infiltration de l'eau dans la structure.



G-2 Domaines D'APPLICATION:

- Autoroutes
- Routes urbaines
- Ponts
- Aires de stationnement
- Grandes surfaces

G-3 Propriétés :

- Anti-fissure : Grâce à son faible allongement et à une très bonne résistance à la traction immédiate, la membrane TruPave[®] retarde l'apparition et la propagation des fissures assurant ainsi une durée de vie appréciable aux structures sous-jacentes.
- Étanchéité : Grâce au renfort hybride Fibre de verre non tissé/Mat de polyester, la membrane TruPave[®] permet une protection optimale de la couche d'étanchéité devant être mise sous la couche chaude d'asphalte. Ce type de renfort assure une résistance à chaleur lors de la pose allant jusqu'à 495°F).
- Malléabilité et recyclage : Les membranes TruPave sont malléables et peuvent être broyées et recyclées.

G-4 Caractéristiques techniques [8] :

Mechanical Properties	Test Method	Unit	Roll Value	
			Nominal	Max
Tensile Strength (MD)	ASTM D5035	lbf/2 in	80	
Tensile Strength (CD)	ASTM D5035	lbf/2 in	70	
Tensile Strength (bias angle) ¹	ASTM D5035 ²	lbf/2 in	70	
Elongation @ max load	ASTM D5035	%	< 5	
Asphalt Retention	ASTM D6140	gal/yd ² (l/m ²)	0.18 (0.82)	
Melting Point	ASTM D276	F° (C°)	--	> 446 (> 230)
Mass/Unit Area	ASTM D5261	oz/yd ² (g/m ²)	4.1 (137)	4.4 (146)

[8] Documentation technique, Owens Corning

IV- Tableau comparatif

Fabricant	Membrane	Type	Application	Domaine	Caractéristiques
EUROVIA	FLEXIPLAST	Complexe bicouche Polymère/bitu me	Entretien des chaussées	Chaussée en béton rigide et semi rigide	• Pénétrabilité à 25 °C (EN 1426) : ≥ 70 mm/10 • Température de ramollissement bille et anneau (EN 1427) : ≥ 80 °C • Point de fragilité Fraass (EN 12593) : ≤ -17 °C • Traction directe à -10 °C et 10 mm/min : (EN 13587) -contrainte à la rupture : ≤ 2 MPa -allongement à la rupture : ≤ 400 %
CRAFCO	Pav-Prep	Mélange bitumineux/Ti ssu PES	Entretien des chaussées Anti-remontée des fissures	Chaussées	• Résistance à la pénétration (ASTME154) : 2202N • Contrainte en traction (ASTMD412) : 13.3 MPa min. • Élongation (ASTMD412) : 20% min • Absorption (ASTM517) : 1%max
	Geo-Tac	Mélange bitumineux/Ti ssu PES	Entretien des chaussées Anti-remontée des fissures	Chaussées	• Résistance à la pénétration (ASTME154) : 896N • Contrainte en traction (ASTMD4632) : 224N min. • Élongation (ASTMD4632) : 50% min • Perméabilité (ASTME96B) : 0.10 US perms max.
6D SOLUTIONS	Cidex	Grille en fibre de verre/PES non tissé enduite d'une résine	Renforcemen t des enrobés (béton bitumineux)	Chaussées souples Chaussées rigides/semi rigides	• Contrainte en traction (ISO10319) : 50KN/m (Cidex50S1, 50SB) 100KN/m (Cidex100 SB) • Allongement à la rupture(ISO10319) : <4% • Ouverture de maille : 40x40 Il existe aussi d'autres variétés de Cidex (voir caractéristiques techniques)

	Rotaflex	Grille en fibre de verre/PES non tissé enduite d'une résine	Renforcement des enrobés (béton bitumineux) Anti-remontée des fissures	Chaussées souples Chaussées rigides/semi rigides	• Contrainte en traction (ISO10319) : 10 KN/m (Ouverture de maille : 5x5) 2KN/m (Ouverture de maille : ?) • Allongement à la rupture(ISO10319) : <4% (Ouverture de maille : 5x5) > 25% (Ouverture de maille =?)
YIXING SHENDZHOU	Geomembrane de PEHD	Membrane en PEHD	Protection des structures en matière d'étanchéité	Autoroutes, tunnels, remblais ferroviaires	• Contrainte en traction à la rupture (ASTMD6693): 20 à 53 KN/m selon l'épaisseur de la membrane • Élongation à la rupture (ASTMD6693) : 700 % max
POLY-DIFFUSION	Matacryl Machine	Résine acrylique modifiée par du polyuréthane à durcissement rapide	Bonne propriétés d'étanchéité et bonne Résistance aux agents agressifs	Pont-rail, tranchées couvertes, viaducs, etc.	Adhésion au béton (NFP 98282) : 3.4 MPa Capacité d'antifissuration : BPG : 2.4 à 8 mm (T=23°C) 2.7 à 8.8 mm (T=-20°C) Résistance au poinçonnement statique : 0.5 à 1.5 mm Dureté Shore A (DIN53512) : 60 IRHD (1 heure après application) 85 IRHD (3 heures après application) Résistance à la traction (-20°C) (ISO527) : 2.31 MPa
SOPREMA	Antirock	Multicouche Asphalt/SBS	Bonne propriétés d'étanchéité et	Stationnements Ponts Infrastructure de génie civile	Résistance à la traction, L/T : (CAN/CGSB-37.56-M : 9.0/7.0 kN/m 9^{ième} ébauche) Résistance à la déformation, L/T : (CAN/CGSB-37.56-M : 9.0/7.0 kN/m

					9^{ième} ébauche) Allongement à la rupture, L/T : (CAN/CGSB-37.56-M : 60/65 % 9^{ième} ébauche) Résistance au poinçonnement statique : (CAN/CGSB-37.56-M : 400 N 9^{ième} ébauche)
OWEN CORNING	TruPave	Renfort hybride Fibre de verre/ Mat PES	Augmentation de la durée de vie de la membrane de renforcement Bonne étanchéité	Autoroutes, Routes urbaines Ponts Aires de stationnement Grandes surfaces	Résistance à la traction, L/T : (ASTM D5035) : 80/70 lbf/2in Résistance à la déformation, L/T : (ASTM D5035) : 9.0/7.0 kN/m Allongement max : (ASTM D5035) : < 5% Rétention de l'asphalte : (ASTM D6140) : 0.82 l/m²



**Centre de
Technologie
Minérale et de
Plasturgie inc.**

RAPPORT D'ACTIVITÉS
(2^{ème} étape)

**DÉVELOPPEMENT ET EXPÉRIMENTATION DE LA MISE EN PLACE D'UNE
MEMBRANE EN POLYMÈRE RECYCLÉ DANS UNE STRUCTURE DE CHAUSSÉE**

Présenté au

Service des projets
Direction de l'île de Montréal
Ministère des Transports du Québec (MTQ)

À l'attention de M. Martin Lafleur, ing.

Par
Abdelaziz Mehamha, responsable du projet

Janvier 2013

I- Avant-propos

La deuxième étape du projet consiste à évaluer les propriétés physico-chimiques des différents types de membranes décrites dans la première étape en effectuant les tests appropriés à l'utilisation de ces membranes. Cependant et faute d'indisponibilité d'échantillons, seules deux types de membranes (Yixing Shendzou Earth Working Material et Soprema) de la première série (étape 1) ont été analysées en laboratoire. Afin d'augmenter le champ d'investigation, d'autres membrane ont été rajoutées dont deux, à base de PEHD recyclé fabriquées au CTMP (RPM et RCM) et une autre membrane provenant de la compagnie DeltaGomma. Les différents types de tests effectués ainsi que les résultats correspondants sont décrits dans ce qui suit.

II- Description des membranes retenues

II.1- Membrane de PEHD Greatvison (Yixing Shendzou Earth Working Material)

La membrane de PEHD Greatvison, à titre d'exemple, est utilisée pour la protection de plusieurs ouvrages en génie civil entre autre les routes, les autoroutes et les sites d'enfouissements. Grâce à ses propriétés en matière d'étanchéité, ces membranes sont souvent utilisées pour l'isolation des structures. Elles évitent les infiltrations de différents médias (eau, graisse, carburant, etc.).

II.2- Membrane Delta Gomma (membrane fabriquée à base recyclés PEBD+EPDM)

Les membranes AGMAT (40, 60 et 120) de DeltaGomma sont conçues pour les environnements à haute circulation. Cette membrane est adaptée pour les applications agricoles (ferme laitière, porcine et équestre), centres d'entraînement, arénas et tapis antifatigue. Largeur standard entre 91cm à 152cm. Étant fait de caoutchouc 100% recyclé, les membranes DeltaGomma fournissent une solution économique et environnementale. [2]

[1] Document technique de Yixing Shendzou Earth Working Material

[2] Document technique de Delta Gomma

II.3- Membranes de PEHD recycle (fabriquée au CTMP)

Ces deux membranes proviennent de deux groupes spécialisés dans le recyclage des polymères (Groupe RPM et RCM). Ces deux entreprises sont des recycleurs et vendent leurs matières sous la forme de granulé. Le grade de RPM provient de bouteilles d'huile d'automobile en HDPE granulées et nettoyées. Le grade de RCM provient du recyclage de sacs de LDPE avec un peu de HDPE dénommé M100. Ces entreprises recherchent actuellement des débouchés pour ces produits de recyclage.[3]

II.4- Membrane SOPREMA (Antirock)

Soprema a développé plusieurs produits destinés à assurer un maximum d'étanchéité des infrastructures en génie civil. La gamme des produits ANTIROCK est celle qui offre la meilleure imperméabilisation des structures avec un résultat optimal. Elle assure une meilleure protection du béton structural contre la corrosion causée, principalement, par l'eau et le sel de déglacage [4].

i) Description de la gamme ANTIROCK :

La gamme comporte un choix de membranes thermofusibles, d'apprêts et de complément d'étanchéité. Ce type de membrane thermofusible est fait à base de bitume modifié avec un élastomère (SBS) avec une surface granulée. Les apprêts *utilisés conditionnent les surfaces de béton et de métal pour favoriser l'adhésion des membranes thermofusibles Antirock* [4].

ii) Domaines D'application :

- Stationnements
- Ponts
- Infrastructure de génie civil

iii) Propriétés :

Une fois mise en place, Les membranes Antirock, peuvent être recouvertes d'asphaltes vu qu'elles peuvent résister facilement à des températures aussi élevées que 140°C (soit la température du fondu d'asphalte). De plus, les membranes ANTIROCK résistent très bien au poinçonnement et le risque d'abimer la couche d'étanchéité avec des véhicules et équipements de pavage est écarté. Les autres qualités des membranes ANTIROCK sont [4]:

- Grande élasticité
- Facilité d'installation
- Étanchéité supérieure

III- Description et résultats des types d'essais réalisés

III.1- Test de résistance à la traction

III.1-1 Description du test

Les tests de résistance à la traction ont été réalisés au moyen d'une machine de traction type Zwick/Roell à la température ambiante tels que décrits dans la norme **ASTM D638**. Des éprouvettes de type 4 fabriquées par compression ont été utilisées. Le module d'Young a été mesuré en utilisant un vidéo-extensomètre avec une vitesse d'étirage de 50mm/min. Les paramètres mesurés sont reportés sur la figure 1.

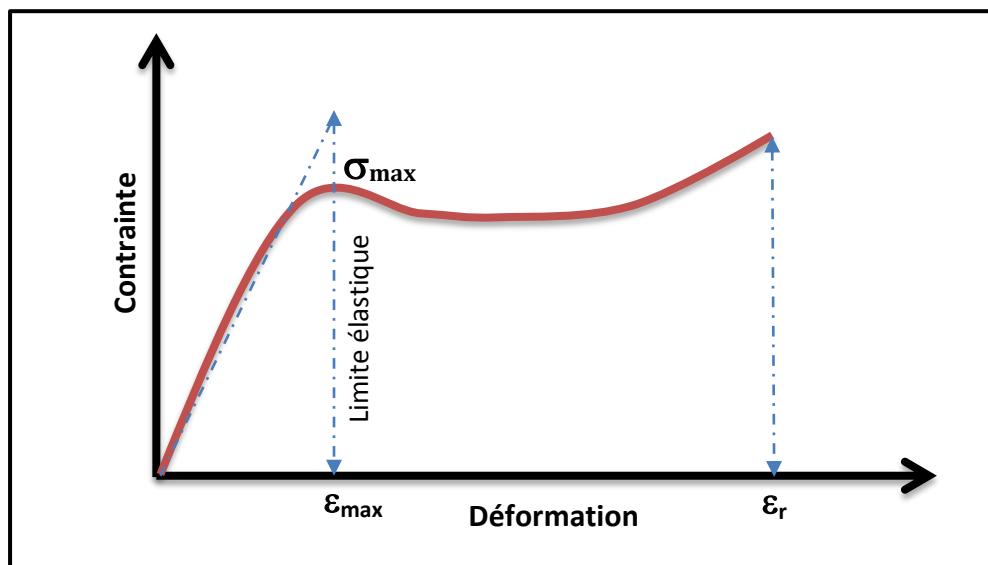


Figure 6: Courbe générale de contrainte-déformation des polymères semi-cristallins

III.1-2 Résultats du test de résistance à la traction

Propriété Type de Membrane	Module d'élasticité (MPa) E	Contraint Max (MPa) ($\sigma_{\max}$)	Déformation à contrainte max (%) ($\sigma_{\max}$)	Déformation à la rupture (%) (ϵ_r)	Épaisseur moyenne (mm)
RPM	646.30	24.617	17.73	138.9	3.16
RCM	314.62	10.704	11.58	36.87	1.78
Yixing Shenzhou	1139.7	29.651	619.1	620.1	1.75
Delta-Gomma	25.852	5.0517	151.6	153.8	1.67
Soprema	156.16	5.1145	34.56	36.90	4.00

Tableau 1: Résultats du test de résistance à la traction

III.2- Test de résistance thermomécanique à la flexion (DMA)

III.2-1 Description du test

La détermination de la résistance thermomécanique à la flexion à basse température a été réalisée au moyen d'un analyseur de type Q800 de TA Instruments selon la norme **D4065**. Le principe de la méthode consiste à appliquer une contrainte périodique et à mesurer la déformation correspondante. La réponse en amplitude diminue, et apparaît avec un décalage (δ) dans le temps, dû aux propriétés visqueuses des polymères. Il en résulte un module complexe qui peut être divisé en deux composantes : E' et E'' .

$$E^* = E' + i E''$$

Où, E' et E'' désignent respectivement les modules de stockage et de perte.

Le rapport entre ces deux composantes (E''/E') est désigné par $\tan \delta$ ou facteur de perte.

Le test a été réalisé en mode flexion trois points (Figure 7) avec un balayage en température de -50°C à $+50^{\circ}\text{C}$ sous une fréquence de 1Hz.

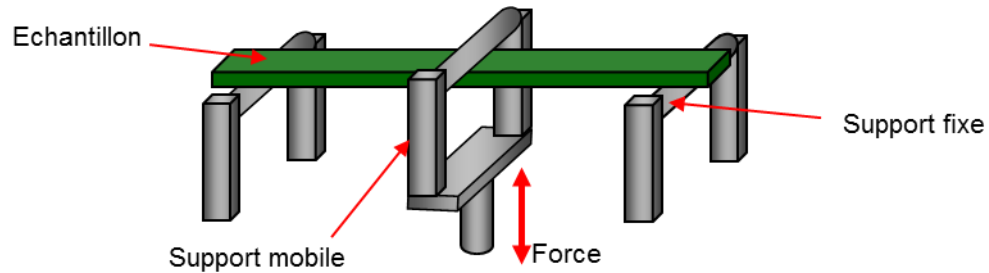


Figure 7: Système de mesure « trois points »

III.2-2 Résultats du test de DMA

	Membrane				
	Température	RPM	RCM	Yixing Shenzhou	Delta-Gomma
Module de perte E'' (MPa)	- 25°C	68.87	79.71	70.64	22.05
	+ 25°C	99.60	64.21	104.0	8.72
Tan delta	- 25°C	0.050	0.055	0.029	0.129
	+ 25°C	0.111	0.109	0.087	0.134

Tableau 2: Résultats du test de DMA (voir courbes de DMA en annexe)

III.3- Test de mesure de la densité apparente

III.3-1 Description du test

La masse volumique (ou densité) a été mesurée au moyen d'une balance Mettler Toledo type MS-DNY-43 munie d'un kit de mesure adapté pour les solides. La mesure a été effectuée à T=25°C.

III.3-2 Résultats du test de la densité apparente

	Membrane				
	RPM	RCM	Yixing Shenzhou	Delta-Gomma	Soprema
Densité (g.cm ⁻³)	0,952	0,968	0,953	1,101	1,408

Tableau 3: Résultats du test de densité apparente

III.4- Test de perméabilité à l'eau

III.1-1 Description du test

Le test de perméabilité à l'eau (WTR) consiste à mesurer le taux de vapeurs d'eau se déplaçant à travers le matériau qui sert de barrière (membrane) quand il y a égalité de pression statique des deux côtés de celle-ci. La pression partielle étant, cependant, différente (loi de Fick) des deux bords. Le test de perméabilité a été réalisé selon la norme **DIN 53122** sur un appareil de mesure de perméabilité de la firme Mocon, Permatran W3/33 à la température de 23°C.

III.1-1 Résultats du test de perméabilité à l'eau

	Membrane				
	RPM	RCM	Yixing Shenzhou	Delta-Gomma	Soprema
Perméabilité (g.mil.m ⁻² .jour ⁻¹)	1.19	1.87	0.014	12.24	Non fait

Tableau 4: Résultats du test de perméabilité à l'eau

III.5- Test de dureté

III.1-1 Description du test

Le principe de ce test consiste à déterminer la profondeur de la pénétration d'un pénétrateur spécifique lorsqu'il est enfoncé dans le matériau dans des conditions bien précises. Le test a été effectué selon la norme **ASTM D2240**. La résistance à la pénétration (dureté) est une propriété inversement proportionnelle à la pénétration et dépend du module d'élasticité et du comportement viscoélastique du matériau. Cet essai est un test empirique destiné principalement à des fins de contrôle.

III.1-1 Résultats du test de dureté

	RCM	RPM	Yixing	Delta Gomma	Soprema
Dureté ShoreD	52.0	60.4	60.0	30.2	23.0

Tableau 5: Résultats du test de dureté

III.6- Test de résistance à la déchirure

III.1-1 Description du test

Les essais de résistance à la déchirure ont été réalisés au moyen d'une machine de traction type Zwick/Roell Z030 selon la norme **ASTM D1004**. L'essai consiste à déterminer la force maximum ainsi que l'allongement à la rupture avec une vitesse de traction constante de 51 mm.min⁻¹.

III.1-1 Résultats du test de résistance à la déchirure

	Membrane				
	RPM	RCM	Yixing Shenzhou	Delta-Gomma	Soprema
Épaisseur (mm)	1.81	1.87	1.73	1.81	4.26
Force max (N)	226.9	188.3	267.4	52.6	100.5
Allongement à la rupture (mm)	6.68	46.49	34.88	37.88	23.04

Tableau 6: Résultats du test de résistance à la déchirure

III.7- Test de résistance à la fissure sous charge (NCLS)

III.1-1 Description du test

Le test NCLS (notched constant ligament stress) consiste à évaluer la résistance à la déchirure des échantillons soumis à une contrainte. Les échantillons sont plongés dans de l'IGÉPAL C0-630 [nonylphenoxy poly (ethyleneoxy) ethanol] à 10% dans de l'eau distillée/dé ionisée à 50°C selon la norme **ASTM F2136**. La charge utilisée dans ce test est une charge équivalente à 15% de 27.5 MPa (contrainte au seuil théorique du

PEHD). Les résultats de ce test (temps nécessaire à la rupture de l'échantillon) sont représentés dans le tableau 7.



Figure 8 : Dispositif utilisé pour le test de NCLS

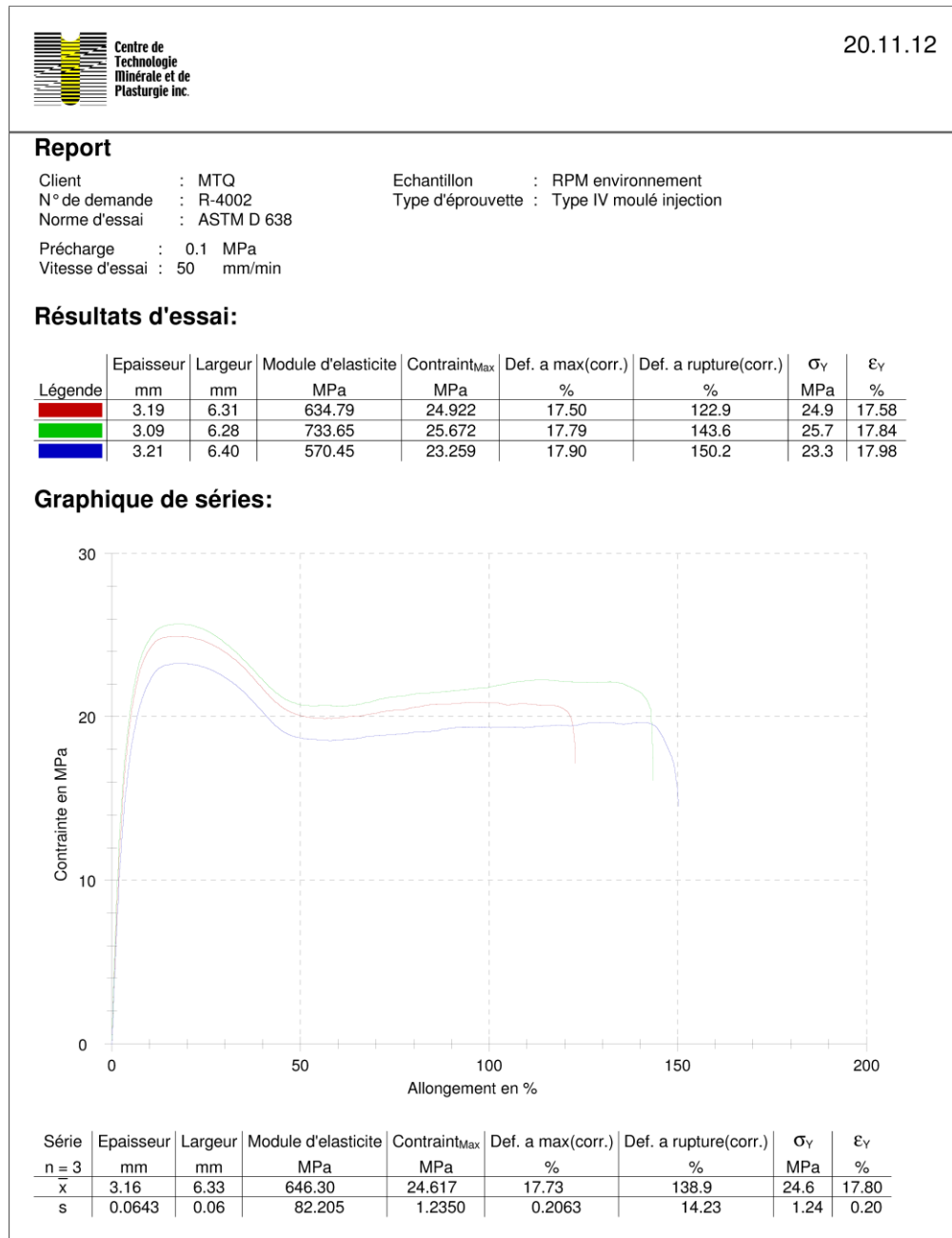
III.1-1 Résultats du test de NCLS

	RCM	RPM	Yixing	Delta Gomma	Soprema
Temps de Rupture (min)	73 et 467	548 et 544	Pas de rupture	Inapproprié (caoutchouteux)	Non fait

Tableau 7: Résultats du test de NCLS

Annexe

Résistance à la traction





20.11.12

Report

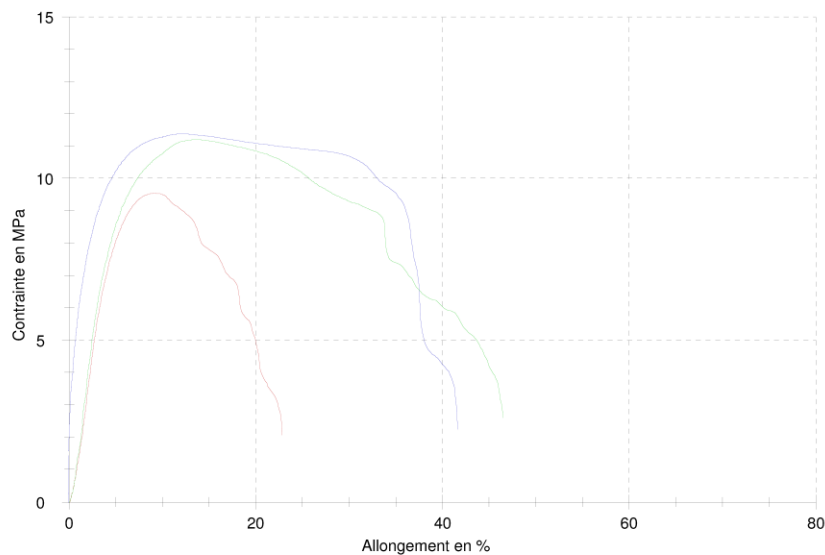
Client : MTQ
N° de demande : R-4002
Norme d'essai : ASTM D 638
Précharge : 0.8 N
Vitesse d'essai : 50 mm/min

Echantillon : RCM
Type d'éprouvette : Type IV emporte-pièce
Remarque : bulles d'air dans les échantillons

Résultats d'essai:

Légende	Epaisseur mm	Largeur mm	Module d'élasticité MPa	Contraint _{Max} MPa	Def. a max(corr.) %	Def. a rupture(corr.) %	σ_Y MPa	ϵ_Y %
	1.79	6.34	208.92	9.5387	8.765	22.48	9.54	9.13
	1.75	6.31	235.64	11.196	13.33	46.12	11.2	13.70
	1.81	6.34	499.30	11.376	12.63	42.03	11.4	12.23

Graphique de séries:



Série	Epaisseur mm	Largeur mm	Module d'élasticité MPa	Contraint _{Max} MPa	Def. a max(corr.) %	Def. a rupture(corr.) %	σ_Y MPa	ϵ_Y %
n = 3								
$\bar{x}$	1.78	6.33	314.62	10.704	11.58	36.87	10.7	11.69
s	0.0306	0.02	160.49	1.0130	2.460	12.63	1.01	2.33



20.11.12

Report

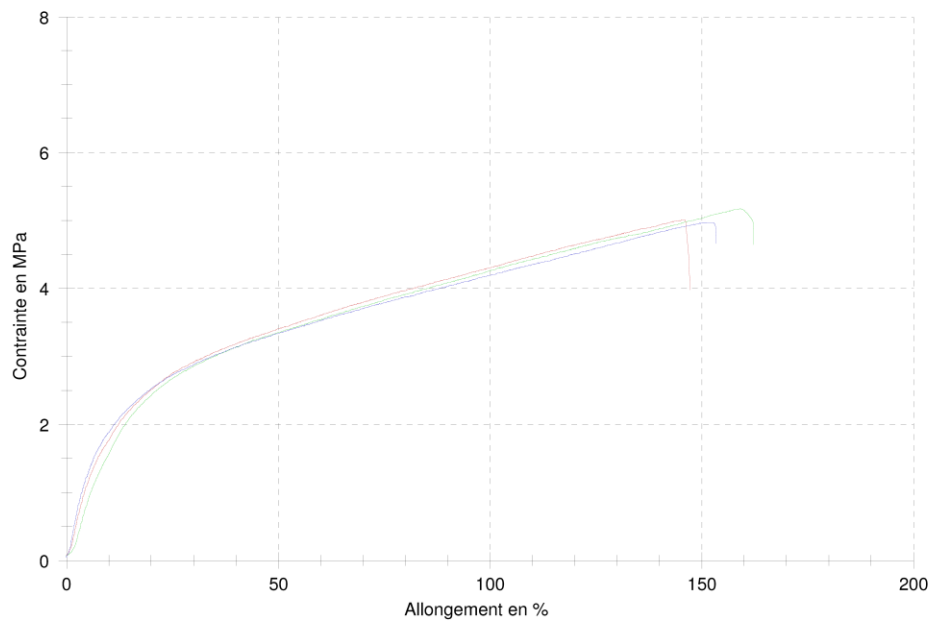
Client : MTQ
N° de demande : R-4002
Norme d'essai : ASTM D 638
Précharge : 0.8 N
Vitesse d'essai : 50 mm/min

Echantillon : Delta Gomma
Type d'éprouvette : Type IV emporte-pièce

Résultats d'essai:

Légende	Epaisseur mm	Largeur mm	Module d'élasticité MPa	Contraint _{Max} MPa	Def. a max(corr.) %	Def. a rupture(corr.) %	σ_Y MPa	ϵ_Y %
	1.66	6.41	25.958	5.0113	145.5	146.9	-	-
	1.66	6.47	21.800	5.1734	158.1	161.3	-	-
	1.69	6.41	29.800	4.9704	151.2	153.2	-	-

Graphique de séries:



Série	Epaisseur mm	Largeur mm	Module d'élasticité MPa	Contraint _{Max} MPa	Def. a max(corr.) %	Def. a rupture(corr.) %	σ_Y MPa	ϵ_Y %
n = 3	mm	mm	MPa	MPa	%	%	MPa	%
x	1.67	6.43	25.852	5.0517	151.6	153.8	-	-
s	0.0173	0.03	4.0008	0.10737	6.270	7.215	-	-



20.11.12

Report

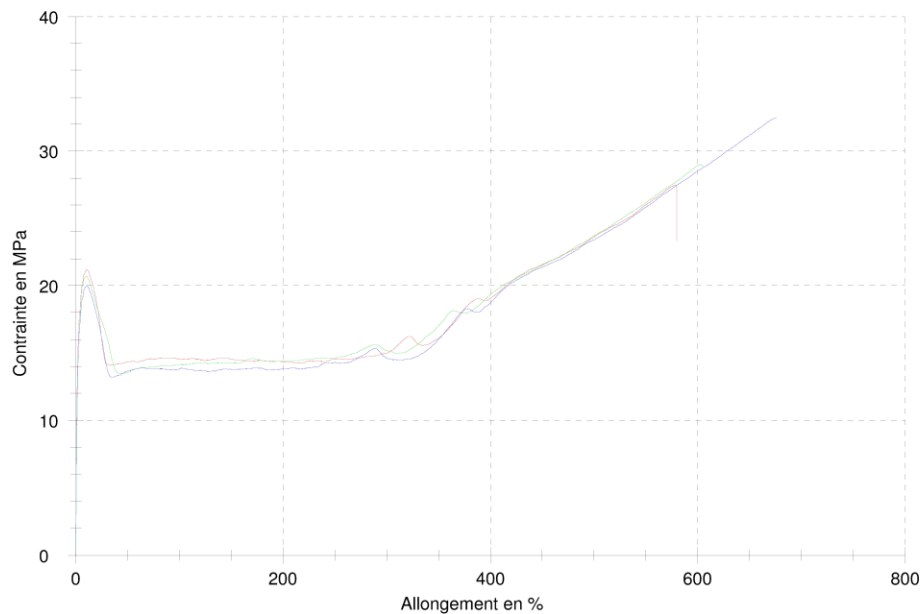
Client : MTQ
N° de demande : R-4002
Norme d'essai : ASTM D 638
Précharge : 0.1 MPa
Vitesse d'essai : 50 mm/min

Echantillon : Xixing Shenzou
Type d'éprouvette : Type IV emporte-pièce

Résultats d'essai:

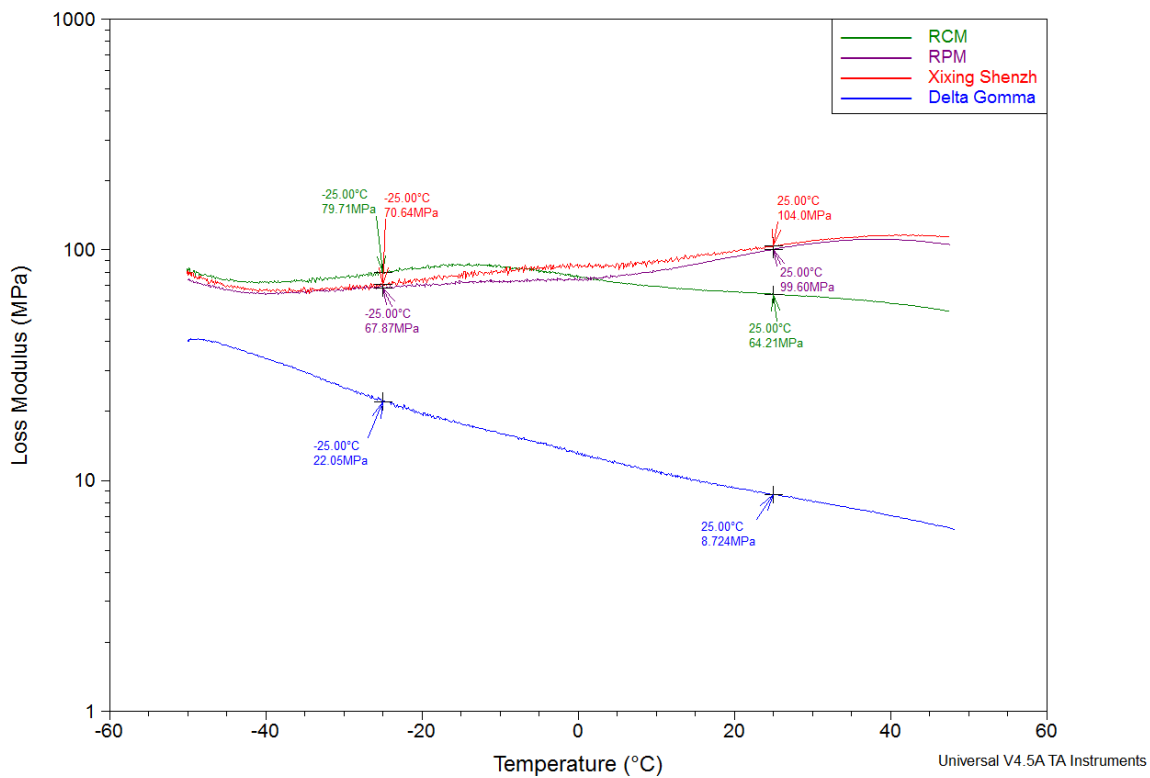
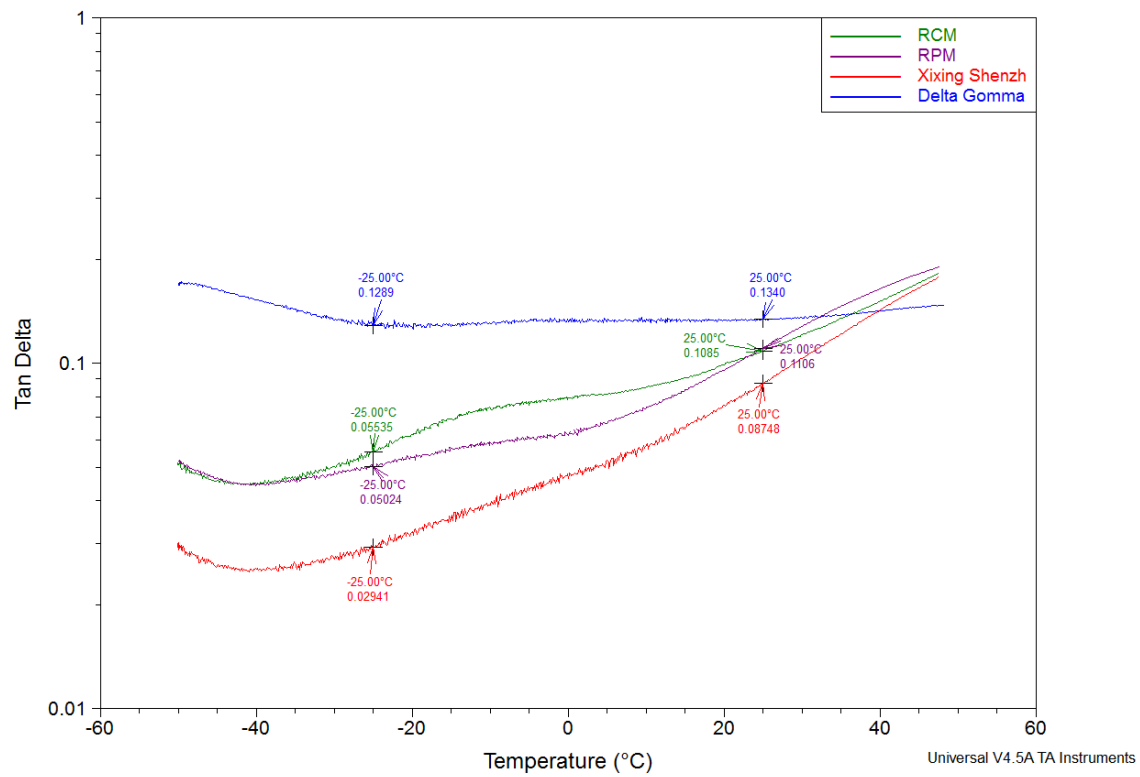
	Epaisseur	Largeur	Module d'élasticité	Contraint _{Max}	Def. a max(corr.)	Def. a rupture(corr.)	σ_Y	ϵ_Y
Légende	mm	mm	MPa	MPa	%	%	MPa	%
	1.72	6.34	1484.5	27.489	578.5	579.8	21.2	10.79
	1.77	6.36	682.25	29.006	603.1	604.9	20.7	10.17
	1.77	6.36	1252.4	32.456	675.7	675.7	20.0	10.91

Graphique de séries:

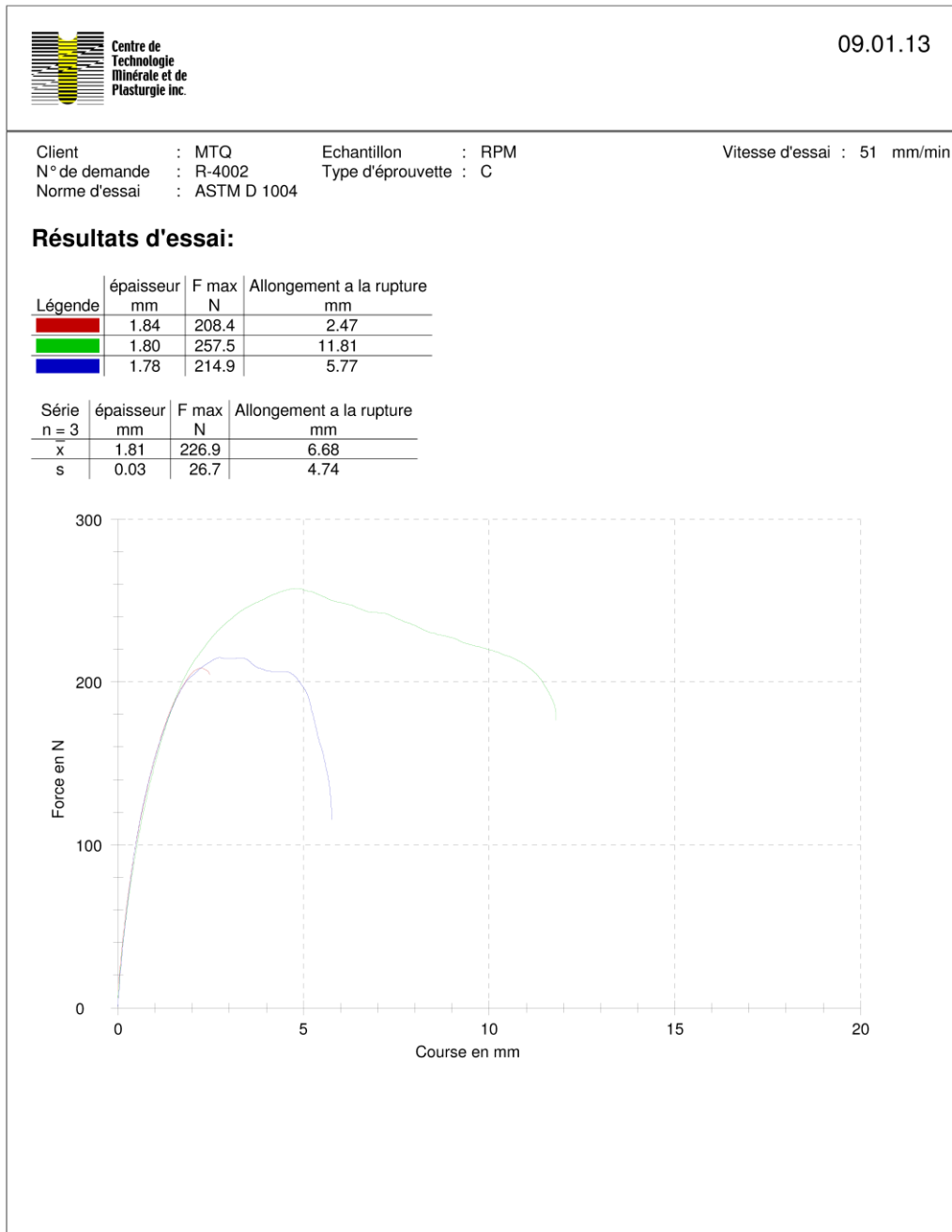


Série	Epaisseur	Largeur	Module d'élasticité	Contraint _{Max}	Def. a max(corr.)	Def. a rupture(corr.)	σ_Y	ϵ_Y
n = 3	mm	mm	MPa	MPa	%	%	MPa	%
x	1.75	6.35	1139.7	29.651	619.1	620.1	20.6	10.63
s	0.0289	0.01	412.83	2.5456	50.55	49.75	0.601	0.40

DMA



Déchirure





Centre de
Technologie
Minérale et de
Plasturgie inc.

09.01.13

Client : MTQ
N° de demande : R-4002
Norme d'essai : ASTM D 1004

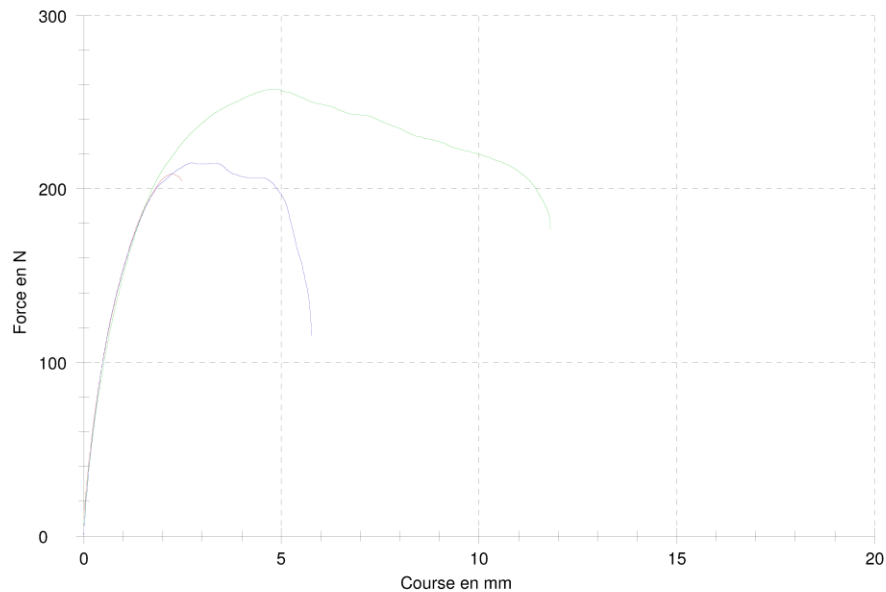
Echantillon : RPM
Type d'éprouvette : C

Vitesse d'essai : 51 mm/min

Résultats d'essai:

Légende	épaisseur mm	F max N	Allongement a la rupture mm
	1.84	208.4	2.47
	1.80	257.5	11.81
	1.78	214.9	5.77

Série n = 3	épaisseur mm	F max N	Allongement a la rupture mm
$\bar{x}$	1.81	226.9	6.68
s	0.03	26.7	4.74





Centre de
Technologie
Minérale et de
Plasturgie inc.

09.01.13

Client : MTQ
N° de demande : R-4002
Norme d'essai : ASTM D 1004

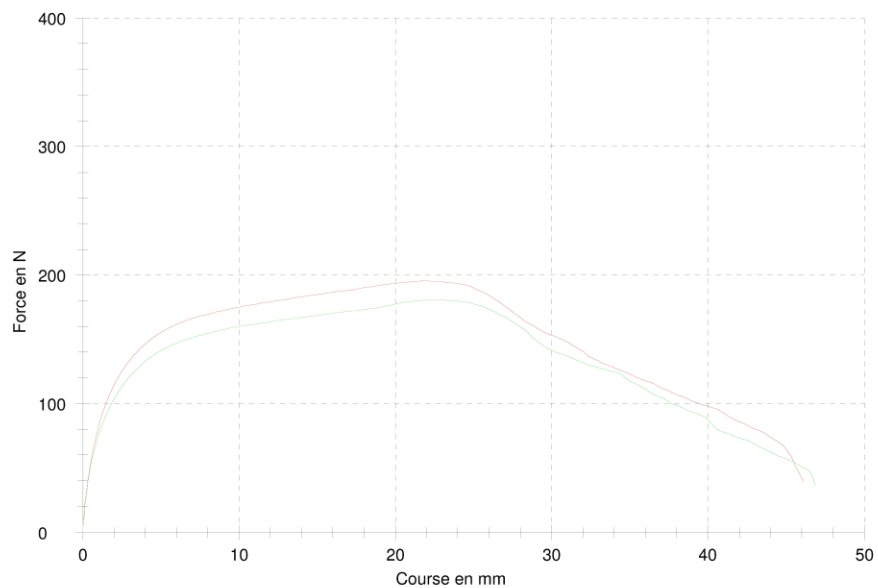
Echantillon : Groupe RCM
Type d'éprouvette : C

Vitesse d'essai : 51 mm/min

Résultats d'essai:

Légende	épaisseur mm	F max N	Allongement a la rupture mm
	1.95	195.6	46.11
	1.78	181.0	46.87

Série n = 2	épaisseur mm	F max N	Allongement a la rupture mm
x	1.87	188.3	46.49
s	0.12	10.3	0.54





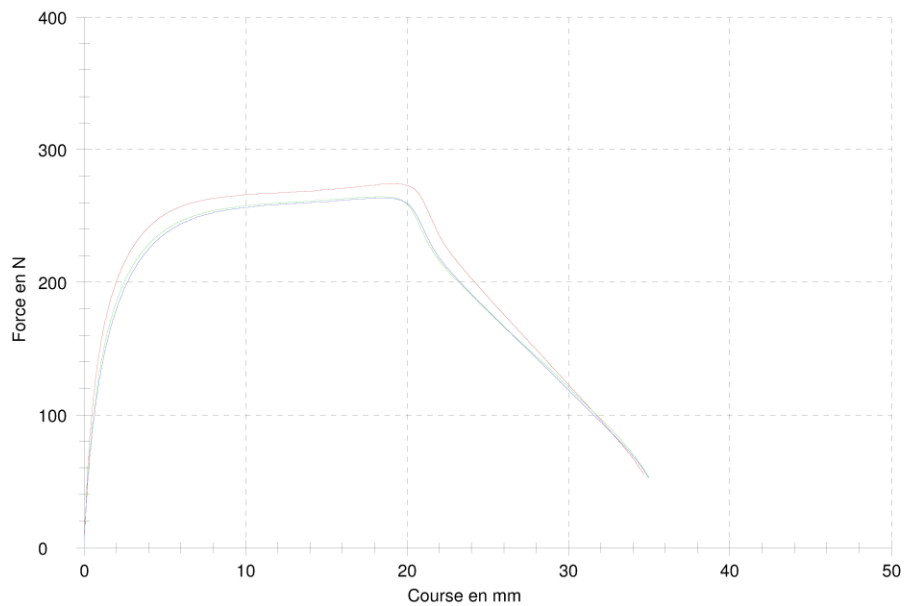
09.01.13

Client : MTQ Echantillon : Yixing Shenzou Vitesse d'essai : 51 mm/min
N° de demande : R-4002 Type d'éprouvette : C
Norme d'essai : ASTM D 1004

Résultats d'essai:

Légende	épaisseur mm	F max N	Allongement a la rupture mm
	1.73	274.2	34.68
	1.74	264.6	34.98
	1.73	263.5	34.97

Série n = 3	épaisseur mm	F max N	Allongement a la rupture mm
x	1.73	267.4	34.88
s	0.01	5.8	0.17





09.01.13

Client : MTQ
N° de demande : R-4002
Norme d'essai : ASTM D 1004

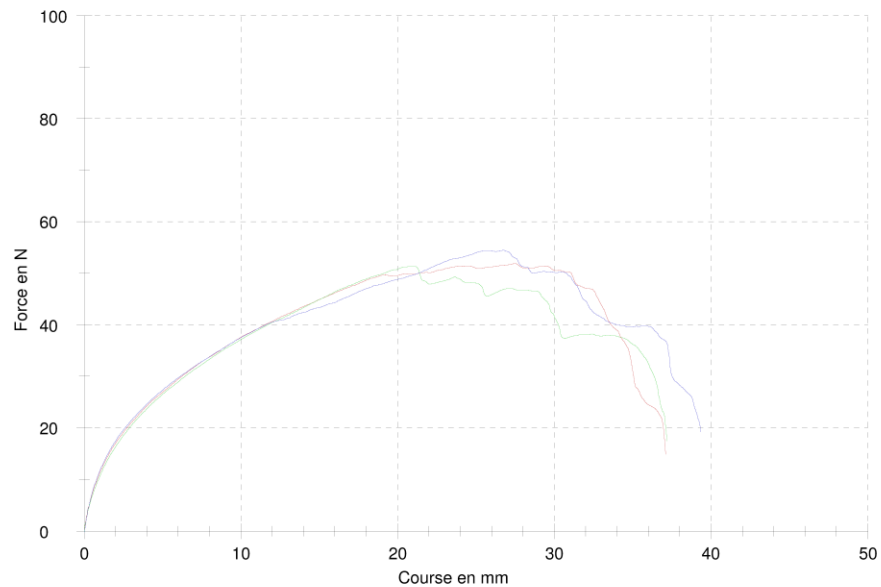
Echantillon : Delta Gomma
Type d'éprouvette : C

Vitesse d'essai : 51 mm/min

Résultats d'essai:

Légende	épaisseur mm	F max N	Allongement a la rupture mm
	1.79	51.9	37.11
	1.82	51.3	37.18
	1.82	54.4	39.33

Série n = 3	épaisseur mm	F max N	Allongement a la rupture mm
$\bar{x}$	1.81	52.6	37.88
s	0.02	1.7	1.26





09.01.13

Client : MTQ
N° de demande : R-4002
Norme d'essai : ASTM D 1004

Echantillon : Soprema
Type d'éprouvette : C

Vitesse d'essai : 51 mm/min

Résultats d'essai:

Légende	épaisseur mm	F max N	Allongement a la rupture mm
	4.30	103.2	23.23
	4.25	109.9	21.03
	4.26	88.5	24.86

Série n = 3	épaisseur mm	F max N	Allongement a la rupture mm
x	4.27	100.5	23.04
s	0.03	10.9	1.92

