

Département de génie de la construction

1100, rue Notre-Dame Ouest

Montréal, Québec

H3C 1K3

Téléphone (514) 396-8490

Télécopie (514) 396-8584

Montréal, le 22 janvier 2019

Monsieur Jack Tutino
Vice-président
Alliance Designer Products
225, Boulevard Bellerose Ouest
Ville de Laval, Québec
H7L 6A1
Tél : (450) 624-1611
Fax : (450) 624-1622
Courriel : jack@alliancegator.com

Objets	Caractérisation initiale des sols et des procédés des sections en pavés unis et dalles Volets # 1.0 à 6.0 - Budget #2A (2015-08-27) et offre de service (2015-09-15) & Suivi des sections de patio instrumentées Volets # 1.0 à 5.0 - Budget #2B (2015-08-27) et offre de service (2015-09-15)
---------------	---

Monsieur,

Nous avons le plaisir de vous transmettre ce rapport concernant la mise en place, le suivi sur trois ans et la caractérisation initiale des sols et de sections en pavés unis et dalles constituant des patios résidentiels et élaborées selon la méthode traditionnelle et le système Gator Base.

Nous espérons que ce document saura rencontrer vos attentes et que nous aurons l'opportunité de collaborer de nouveau avec vous lors de vos prochains travaux.

Veillez agréer, Monsieur, nos salutations distinguées.

Michel Vaillancourt, ing., Ph.D.
Professeur – Département de génie de la construction

MV

1.0 INTRODUCTION

À la suite de l'approbation du budget #2A et #2B du 2015-08-27 et de l'offre de service du 2015-09-15, des travaux de construction ont été orchestrés par votre entreprise afin de bâtir des patios résidentiels constitués de pavés unis et dalles, et plus précisément, d'évaluer les procédés d'élaboration de ces patios. Notamment, deux (2) procédés d'élaboration sont utilisés, soit : la méthode traditionnelle (MT) et le système Gator Base (SGB).

Ces essais in situ font suite à des travaux de laboratoire réalisés à la demande d'Alliance Designer Products afin de caractériser le panneau de polypropylène expansé (PPE) Gator base et de comparer le SGB avec la MT. Ces travaux sont présentés dans le rapport "*TECHNICAL REPORT ON THE CHARACTERIZATION OF GATOR BASE EXPANDED POLYPROPYLENE PANEL (EPP) AND STUDY OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF A TRADITIONAL ICPI APPLICATION VS A GATOR BASE PEDESTRIAN APPLICATION*" produit en novembre 2014.

L'objectif du présent mandat est de valider sur sites réels les résultats obtenus en laboratoire. Les aspects étudiés sur site portent sur le comportement thermique des systèmes ainsi que sur la capacité portante et la résistance à la déformation. Les essais en laboratoire ont montré que pour une même épaisseur le SGB était beaucoup plus isolant que le MT. De plus ces essais ont aussi montré que le SGB était plus en mesure de répartir les charges. Afin de comparer le comportement thermique des deux systèmes, des thermocouples seront mis en place de manière à réaliser un suivi continu des températures extérieures et intérieures aux systèmes. De plus des relevés d'élévation en fin de construction et annuels par la suite permettront de faire le suivi des déplacements à la surface des patios.

À ce titre, la démarche utilisée par le Laboratoire sur les chaussées et les matériaux bitumineux (LCMB) de l'École de technologie supérieure (ÉTS) consistait à:

- Implanter l'instrumentation nécessaire pour effectuer les relevés de température sous les sections de pavés unis ;
- Échantillonner les sols pour effectuer leurs caractérisations physiques, mécaniques et thermiques en laboratoire ;
- Évaluer le comportement mécanique des sols et des procédés à l'aide d'essais de caractérisation au chantier ;
- Évaluer le comportement thermique des procédés à l'aide des relevés de température ;
- Réaliser des relevés topographiques (ou de profils) des sections en pavés unis au fil des années afin de quantifier leur dégradation éventuelle ;
- Élaborer un rapport présentant les résultats.

2.0 DESCRIPTION DES SITES, SECTIONS ET INSTRUMENTATION

Trois (3) sites au Québec ont été sélectionnés par votre entreprise afin d'implanter les patios élaborés selon les deux (2) procédés et ainsi débiter leur caractérisation initiale. Ces sites se situent précisément dans la cours arrière des résidences du : A) 67, Croissant Roxton dans Montréal Ouest, B) 114, rue Daigneault dans la Ville de Chambly et, C) 204, Avenue Dufferin dans la Ville d'Hampstead à Montréal. Dans le rapport, les sites sont identifiés par leur numéro d'adresse soit le 67, 114 et 204 respectivement. Pour chacun des sites, le patio résidentiel est divisé en deux (2) sections de même superficie : l'une élaborée selon la méthode traditionnelle (MT) et l'autre selon le système Gator Base (SGB). En outre, la superficie de chacune des sections a été choisie par votre client et votre entreprise. Le *Tableau 1* présente la superficie des patios, des sections élaborées selon les deux (2) procédés ainsi que la date de leur réalisation pour chacun des sites. Par ailleurs, le *Tableau 2* décrit la composition de chacune des sections de pavés unis. Chacune des sections repose sur un géotextile qui recouvre le sol en place.

Tableau 1 Superficie du patio, des sections et date de réalisation par site

Élément \ Site	67	114	204
Sup. Patio (m ²)	4,5 x 6,7 (14,75 x 22')	4,3 x 4,3 (14 x 14')	3,7 x 3,7 (12 x 12')
Sup. Section MT (m ²)	4,5 x 3,4 (14,75 x 11')	4,3 x 2,1 (14 x 7')	3,7 x 1,8 (12 x 6')
Sup. Section SGB (m ²)	4,5 x 3,4 (14,75 x 11')	4,3 x 2,1 (14 x 7')	3,7 x 1,8 (12 x 6')
Date de réalisation	2015-09-11	2015-09-10	2015-09-16
Mesure dans () en pieds 1' = 0,3 m			

Chacune des sections est instrumentée avec trois (3) thermocouples afin d'évaluer son comportement thermique. Les trois (3) thermocouples, insérés dans des conduits¹, sont placés dans le sol d'infrastructure. La *Figure 1* illustre un cas type concernant le positionnement des thermocouples et conduits sous les sections de patios. Deux (2) thermocouples sont placés ensemble sous le géotextile et l'autre thermocouple (x1) est placé 6" (150 mm) plus profond.

¹ Conduit en PVC de type IPEX d'un 1/2" de diamètre intérieur servant à protéger les thermocouples des intempéries et des poinçonnements.

Tableau 2 Épaisseur des matériaux composant chacune des sections par site

Site	67		114		204	
Section	TM	GBS	TM	GBS	TM	GBS
Élément						
Revêtement	Dalles ** 19 mm (3/4")	Dalles ** 19 mm (3/4")	Pavés *** 60 mm (2 3/8")	Pavés *** 60 mm (2 3/8")	Pavés *** 60 mm (2 3/8")	Pavés *** 60 mm (2 3/8")
Panneaux en polymère expansé (PPE)	---	20 mm (3/4")	---	20 mm (3/4")	---	20 mm (3/4")
Lit de sable compacté	25 mm (1")	13 mm (1/2")	25 mm (1")	13 mm (1/2")	25 mm (1")	13 mm (1/2")
Pierre concassée (0/20mm) compactée (Seul SGB)	150 mm (6")	---	150 mm (6")	---	150 mm (6")	---
Géotextile	Very thin					
Pierre concassée (0/20mm) compactée	---	≈ 50 mm (2")	---	---	---	---
Épaisseur totale	194 mm (7 3/4")	102 mm (4")	235 mm (9 1/4")	93 mm (3 21/32")	235 mm (9 1/4")	93 mm (3 21/32")
** Dalles carrées de 24" x 24" x 3/4" d'épaisseur. *** Pavés unis de trois (3) dimensions (ou superficies) différentes, mais d'une épaisseur de 2 3/8". 1" = 25,4 mm						

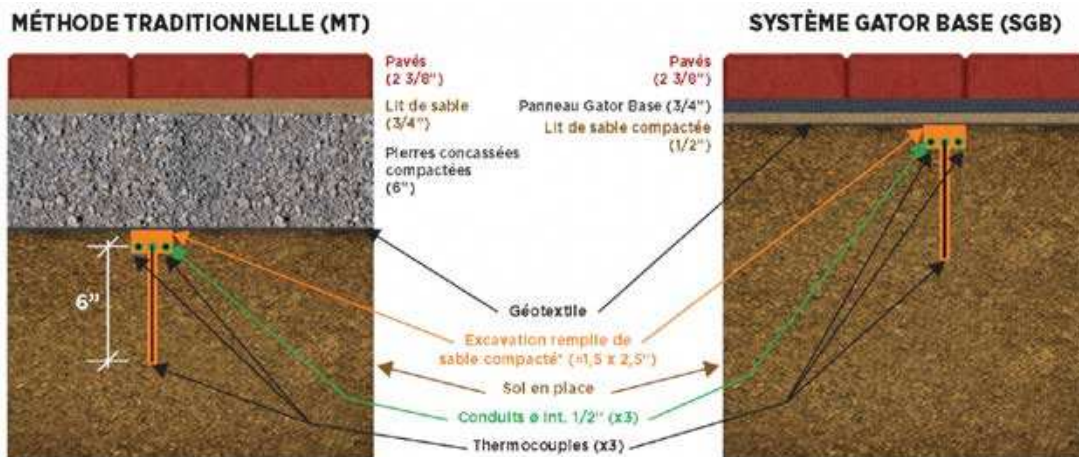


Figure 1 Cas type du positionnement des thermocouples et conduits sous les sections de pavés unis /dalles (vue de profil)

Les thermocouples sont disposés dans la partie centrale et dans le sens longitudinal d'une section afin d'être le plus éloigné possible du pourtour du patio, soit à 3' minimum. Cette disposition va permettre de limiter l'impact du sol environnant (et de l'autre section) sur les relevés de température ou plus précisément, sur le comportement thermique de chaque section. Enfin, les thermocouples sont reliés à une boîte d'acquisition de températures. Les Figures 2, 3 et 4 illustrent l'emplacement de la maison, des sections, thermocouples (T_x), conduits (=) et boîtes d'acquisition de température (B_x ou CR_{xx}) pour chacun des sites.

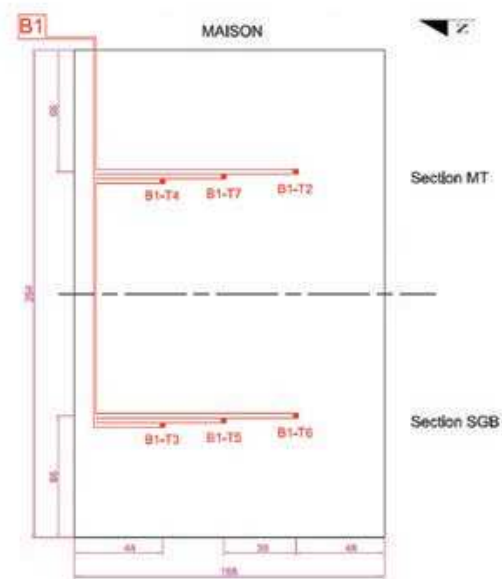


Figure 2 Emplacement de la maison, sections, thermocouples, conduits et boîte au 67, Croissant Roxton dans Montréal Ouest (les cotes sont en pouces).



Photo 1 67, Croissant Roxton dans Montréal Ouest - Position du patio cours arrière 308° N.O. Entouré mur de la maison et unité de climatisation et une haie de cèdre partie arrière et côté opposé de la maison.

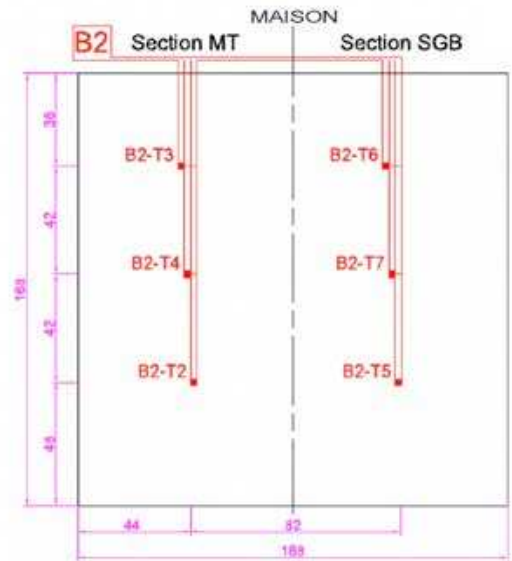


Figure 3 Emplacement de la maison, sections, thermocouples, conduits et boîte au 114, Rue Daigneault dans la Ville de Chambly (les cotes sont en pouces).



Photo 2 114, Rue Daigneault dans la Ville de Chambly - Position du patio cours arrière à 145° S. E. Le balcon de la maison et ouvert sur 3 cotés

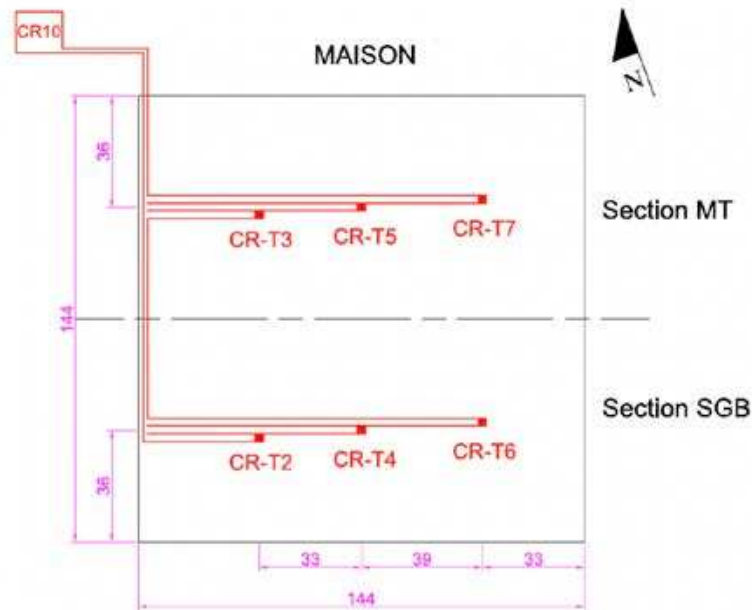


Figure 4 Emplacement de la maison, sections, thermocouples, conduits et boîte au 204, Av. Dufferin à Hampstead (les cotes sont en pouces).



Photo 3 204, Av. Dufferin à Hampstead - Position du patio arrière cours 206° S.O. entouré d'une haie cotée maison et d'arbre mature section arrière

3.0 ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

À la suite du retrait du gazon et de la terre végétale (SGB) et à la suite de l'excavation complète (MT) des sections sur le terrain résidentiel, plusieurs échantillonnages (ou prélèvements) de sol ont été réalisés manuellement. Ces prélèvements étaient réalisés afin d'obtenir des échantillons servant aux essais de : 1) Granulométrie et Proctor (GP_x), 2) Masse volumique (MV_x), et 3) Potentiel de ségrégation évaluée avec une cellule de gel (CG_x). L'emplacement des prélèvements pour chacun des sites est illustré aux *Figures 5, 6 et 7*. En tout, neuf (9) prélèvements ont été réalisés. Également, les échantillons GP_x et MV_x ont servi pour les essais de : 4) Teneur en eau, 5) Limites de consistance, et 6) Tassement (ou Consolidation œdométrique).

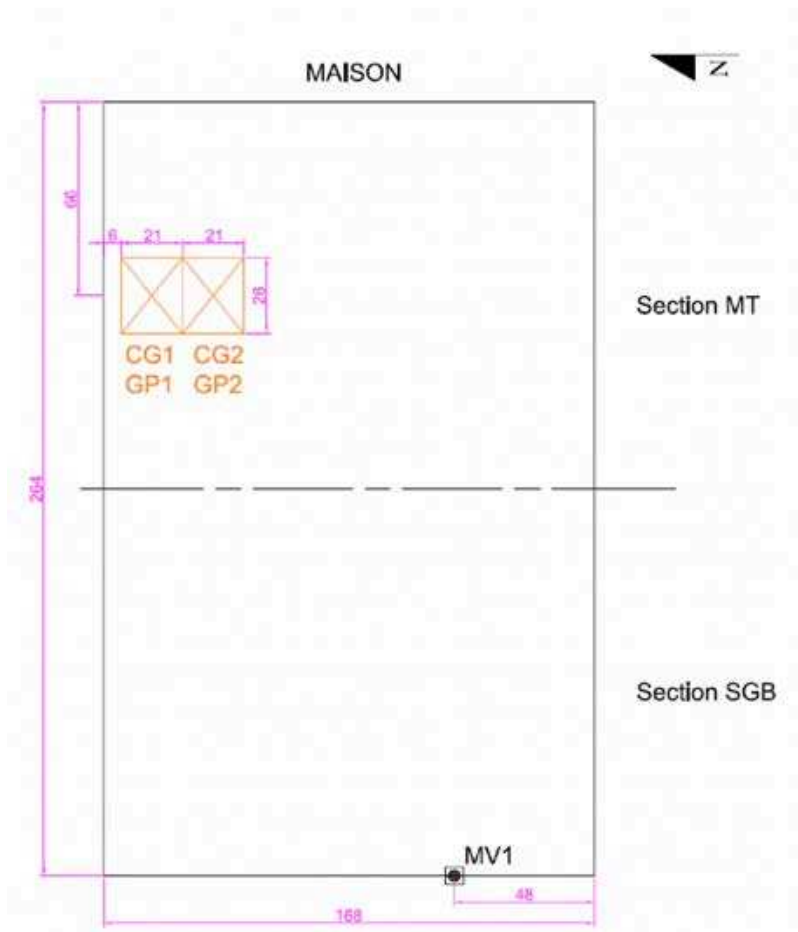


Figure 5 Emplacement des prélèvements au 67, Croissant Roxton à Montréal Ouest

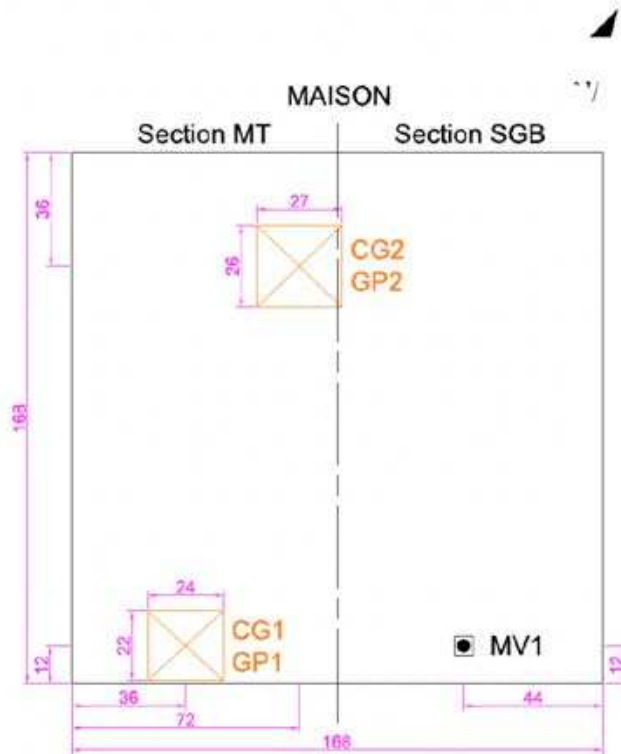


Figure 6 Emplacement des prélèvements au 114, Rue Daigneault à Chambly

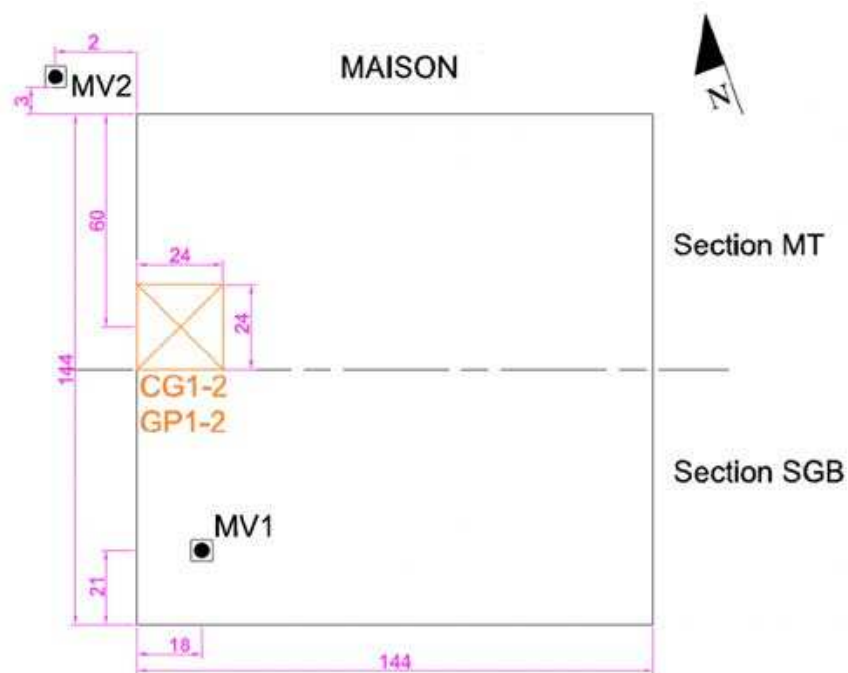


Figure 7 Emplacement des prélèvements au 204, Av. Dufferin à Hampstead

4.0 ESSAIS DE CARACTÉRISATION

4.1 Introduction

Cette section présente l'ensemble des essais de caractérisation qui ont été réalisés, au chantier ou en laboratoire, sur les sols et les sections de pavés unis. Ces essais permettent de connaître les propriétés physiques et/ou mécaniques de ces éléments. La réalisation des essais s'est effectuée selon les normes suivantes:

- Détermination de la masse volumique avec le cône de sable (ASTM D1556/D1556M) ;
- Pénétrömètre dynamique léger à énergie variable (Panda) (aucune norme) ;
- Déflexomètre à masse tombante portable ("Light Falling Weight Deflectometer", LFWD) (aucune norme) ;
- Analyse granulométrique par tamisage (ASTM C136, LC 21-040, NQ 2560-040) ;
- Analyse granulométrique par sédimentation (ASTM C136, LC 21-040, NQ 2501-025) ;
- Détermination de la teneur en eau (ASTM D4959, BNQ 2501-170, LC 21-201) ;
- Limites de consistance (ASTM D4318, CAN/BNQ 2501-090, CAN/BNQ 2501-170) ;
- Tassement/consolidation œdométrique (ASTM D2435, LC 22-301) ;
- Détermination du potentiel de ségrégation (ASTM D5918, LC 22-331) ;
- Proctor standard/normal (ASTM D 698, CAN/BNQ 2501-250).

4.2 Essais de chantier

À la suite de l'excavation, un ou des essais de cône de sable étaient réalisés afin de déterminer la masse volumique (MV) du sol en place (in situ) non compacté (SNC). Dans certains cas, la MV a été déterminée sur le sol en place après avoir été compacté (SC) à l'aide d'une plaque vibrante. Les étapes de l'essai de cône de sable sont les suivantes : 1) réalisation d'un trou dans le sol, 2) pesage du sol récupéré, 3) remplissage du trou avec un sable étalonné, et 4) pesage du sable nécessaire pour le remplissage, ce qui permet de connaître le volume du trou et par la suite, la MV du sol en place (in situ). Les résultats relatifs aux essais de masse volumique pour chacun des sites sont indiqués au *Tableau 3*. En considérant les valeurs de masse volumique sèche calculées à l'aide des résultats des essais de cône de sable (*Tableau 3*) et de la teneur en eau déterminée en laboratoire, et des valeurs de masse volumique sèche optimale déterminées à l'aide de l'essai Proctor (*Tableau 9*), le degré de compactage des sols des sites nos 67, 114 et 204 est de 82%, 71% et de 74 à 78%, respectivement.

Tableau 3 Résultats relatifs aux essais de masse volumique du sol en place (in situ) au niveau des sections MT et SGB

Essai	Paramètre mesuré	Matériau ^A	Profondeur du relevé (m) ^B	Site		
				67	114	204
Cône de sable	Masse volumique in situ (ρ , kg/m ³)	SNC	0 à 0,15	1 669 ⁽¹⁾	N. D.	1 581 ⁽¹⁾
		SC	0 à 0,15	ND	1 375 ⁽¹⁾	1 612 ⁽¹⁾
	Masse volumique (ρ_d , kg/m ³) ^C	SNC	0 à 0,15	1 357	N. D.	1 195
		SC	0 à 0,15	N. D.	1 066	1 127

^A SNC : Sol non compacté ; SC : Sol compacté à l'aide d'une plaque vibrante.
^B À partir du fond de l'excavation.
^C En considérant la teneur en eau déterminée en laboratoire (valeur indiquée dans le Tableau 9).
^(X) Nombre d'essai réalisé indiqué en exposant et entre parenthèses.
 N. D. Non disponible

Pour chaque site, des essais de pénétromètre dynamique léger à énergie variable (Panda, PA_x) ont été réalisés (Figures 8, 9 et 10). Ces essais ont été d'abord réalisés au niveau du sol non compacté (SNC), ensuite, au niveau du sol compacté (SC) et, pour finir, au niveau de la pierre concassée compactée (PCC). Le Panda est constitué d'une tige métallique qui est enfoncée dans le sol (ou la pierre) par battage manuel afin de connaître la résistance en pointe du matériau en fonction de la profondeur et ainsi, connaître la résistance mécanique du matériau. La résistance en pointe varie en fonction du type de sol et de sa rigidité. Avec cet appareil, il est donc possible de définir la stratigraphie (localisation des différentes couches) d'un site en fonction de sa résistance en pointe. Par ailleurs, la résistance en pointe du sol peut être convertie en résistance mécanique (module résilient, Mr).

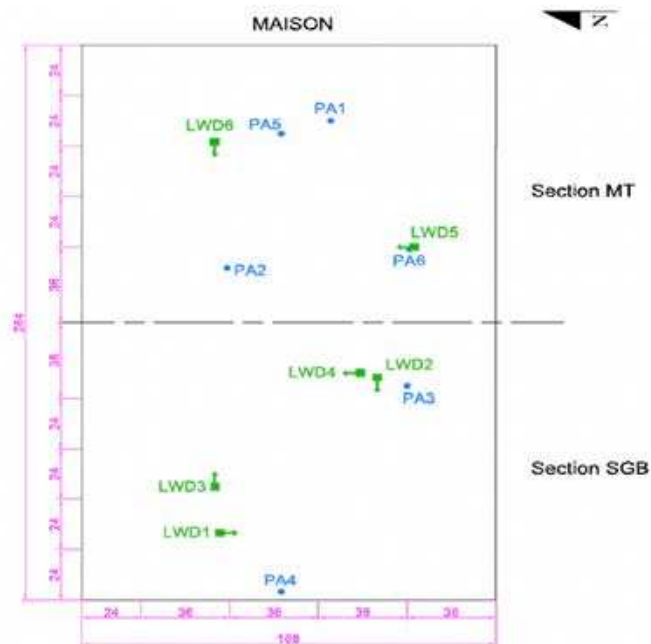


Figure 8 Localisation des essais de Panda (PA) et de LFWD (LWD) au 67, Croissant Roxton à Montréal Ouest

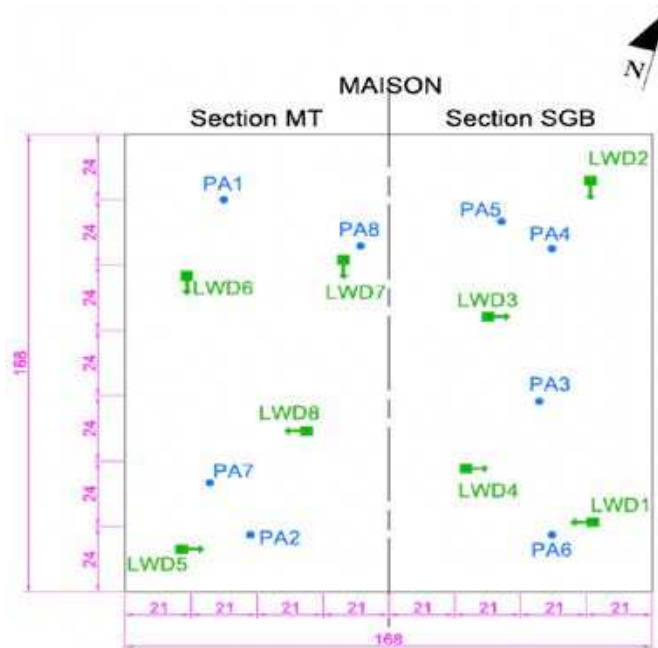


Figure 9 Localisation des essais de Panda (PA) et de LFWD (LWD) au 114, Rue Daigneault à Chambly

Les valeurs de Mr du SNC, du SC et la PCC en fonction de la profondeur pour chacun des sites sont indiquées aux Tableaux 4 à 6.

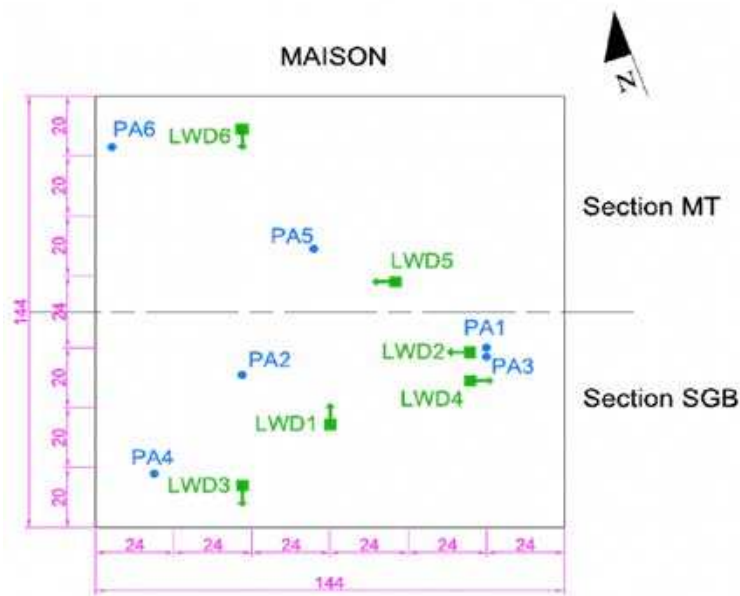


Figure 10 Localisation des essais de Panda (PA) et de LFWD (LWD) au 204, Av. Dufferin à Hampstead

Rapport de suivi de performances de patios instrumentés et construits selon le système conventionnel et Gator Base

Tableau 4 Résultats d'essais de Panda au niveau du sol non compacté (SNC) au niveau des sections MT et SGB

Essai ^A	Paramètre mesuré	Matériau	Profondeur du relevé (m) ^B	Site					
				67		114		204	
				TM PA1	GBS PA3	TM PA1	GBS PA3	TM PA5	GBS PA1
Panda	Résistance en pointe convertie en module résilient (Mr en MPa)	SNC	0,0 à 0,1	38	32	25	27	50	41
			0,1 à 0,2						
			0,2 à 0,3						
			0,3 à 0,4						
			0,4 à 0,5						
			0,5 à 0,6	29	38	38	41		
			0,6 à 0,7						
			0,7 à 0,8						
			0,8 à 0,9	44	46	71	51		
			0,9 à 1,0					50	112
			1,0 à 1,1						
1,1 à 1,2	46		88						

^A Deux (2) essais ont été réalisés dont les résultats sont affichés pour chacun des sites.
^B À partir du fond de l'excavation et ce, pour les deux (2) sections : MT et SGB.

Tableau 5 Résultats d'essais de Panda au niveau du sol compacté (SC) au niveau des sections MT et SGB

Essai ^A	Paramètre mesuré	Matériau	Profondeur du relevé (m) ^B	Site					
				67		114		204	
				TM PA5	GBS PA4	TM PA2	GBS PA4	TM PA5	GBS PA2
Panda	Résistance en pointe convertie en module résilient (Mr en MPa)	SC	0,0 à 0,1	37	50	42	37	37	34
			0,1 à 0,2						
			0,2 à 0,3						
			0,3 à 0,4	42	71	46	48	48	
			0,4 à 0,5						
			0,5 à 0,6						
			0,6 à 0,7	34	51	51	51	52	
			0,7 à 0,8						
			0,8 à 0,9						
			0,9 à 1,0	51	51				
			1,0 à 1,1						
1,1 à 1,2	51								

^A Deux (2) essais ont été réalisés dont les résultats sont affichés pour chacun des sites.
^B À partir du fond de l'excavation et ce, pour les deux (2) sections : MT et SGB.

Rapport de suivi de performances de patios instrumentés et construits selon le système conventionnel et Gator Base

À l'exception du site du 114, rue Daigneault et en comparant les résultats des essais de Panda des *Tableaux 4* et *5*, il est possible de constater que le sol compacté (SC) présente sensiblement les mêmes caractéristiques mécaniques que celui non compacté (SNC). Ceci peut s'expliquer par les fortes teneurs en eau des sols. Ces teneurs en eau sont supérieures à celles considérées optimales pour le compactage (réf. essais Proctor : détails additionnels à la section 4.3). Cependant, ceci peut surtout par une faible densité des sols qui sont argileux et remaniés. De plus, la faible énergie de compactage fournie par les petites plaques vibrantes n'est pas très efficace pour la densification des sols. En comparant les résultats des essais des *Tableaux 4* et *5* avec ceux du *Tableau 6*, il est possible de constater que de 0,0 à 0,2 m, la résistance mécanique (M_r) augmente considérablement. M_r passe d'une valeur moyenne de 50 MPa à une valeur moyenne de 113 MPa en raison de la mise en place de la PCC et ce, malgré son épaisseur de 0,150 m (6"). Il faut mentionner cependant que cette valeur de 113 MPa est relativement faible pour une couche de PCC compactée qui devrait se situer aux environs de 300 MPa. La faible énergie de compactage et la faible capacité des sols d'infrastructures expliquent cette différence.

Tableau 6 Résultats d'essais de Panda au niveau de la pierre concassée compactée (PCC) au niveau des sections MT

Essai ^A	Paramètre mesuré	Matériau	Profondeur du relevé (m) ^B	Site					
				67		114		204	
				PA5	PA6	PA7	PA8	PA6	PA7
Panda	Résistance en pointe convertie en module résilient (M_r en MPa)	PCC	0,0 à 0,1	71	71	71	71	75	71
			0,1 à 0,2						
			0,2 à 0,3	34	37	34	32	34	34
			0,3 à 0,4						
			0,4 à 0,5						
			0,5 à 0,6						
			0,6 à 0,7	46		44	38	48	48
			0,7 à 0,8						
			0,8 à 0,9	38		51	46	52	48
			0,9 à 1,0						
			1,0 à 1,1						
			1,1 à 1,2			51	51	51	

^A Deux (2) essais ont été réalisés dont les résultats sont affichés pour chacun des sites.
^B À partir de la surface de la pierre concassée compactée (PCC) et ce, uniquement pour la section MT car l'autre section ne possède pas de PCC sur une épaisseur de 2" (0,051m).

Rapport de suivi de performances de patios instrumentés et construits selon le système conventionnel et Gator Base

À chaque étape de construction, pour chaque couche, la mesure du module de rigidité (ou capacité portante en MPa) a été prise au moyen du LFWD (“Light Falling Weight Deflectometer” ou déflectomètre à masse tombante portable), soit : sur le sol compacté (SC), la pierre concassée compactée (PCC), les panneaux en polymère expansé (PPE) et les dalles (D) ou les pavés unis (PU). Pour chaque site, la localisation des essais de LFWD est indiquée aux *Figures 8, 9* et *10*. L’essai de LFWD consiste à laisser tomber une masse donnée d’une hauteur connue sur une plaque en aluminium (100 mm à 150 mm de diamètre) qui repose sur la surface à tester. La plaque est perforée en son centre où un géophone repose sur la surface afin de mesurer la déflexion de cette dernière à la suite de la chute de la masse. Par ailleurs, un capteur mesure la force (en kN) (ou la contrainte en kPa) générée par la masse tombante sur la surface. À partir d’un logiciel de rétro calcul et des mesures de déflexion et de force, il est possible d’estimer le module de rigidité du (des) matériau(x) constituant la structure sollicitée. La déflexion mesurée à la surface englobe les déflexions de chacune des couches de la structure déformées par l’impact. Le module obtenu est global et représente le module de la structure et non pas le module de la surface. Les résultats des essais de LFWD pour les sections élaborées selon la méthode traditionnelle (MT) et le système Gator Base (SGB) sont exposés dans les *Tableaux 7* et *8*, respectivement.

Tableau 7 Résultats des essais de LFWD pour les sections élaborées avec la méthode traditionnelle (MT)

Essai ^A	Élévation du relevé (m) ^B	Paramètre mesuré	Site		
			67	114	204
LFWD	0,000 : au niveau du SC	Force (kN)	101 ⁽²⁾	45 ⁽¹⁾	91 ⁽²⁾
		Déflexion (mm)	4,744 ⁽²⁾	1,288 ⁽¹⁾	4,100 ⁽²⁾
		Module de rigidité (MPa)	6 ⁽²⁾	9 ⁽¹⁾	6 ⁽²⁾
	0,127 : au niveau de la PCC	Force (kN)	105 ⁽²⁾	108 ⁽²⁾	105 ⁽²⁾
		Déflexion (mm)	1,502 ⁽²⁾	1,585 ⁽²⁾	1,560 ⁽²⁾
		Module de rigidité (MPa)	19 ⁽²⁾	18 ⁽²⁾	18 ⁽²⁾
	0,168 ou 0,203 ^C : au niveau des D ou PU	Force (kN)	8,0 ⁽³⁾	N. D.	8,1 ⁽⁶⁾
		Déflexion (mm)	0,007 ⁽³⁾		0,003 ⁽⁶⁾
		Module de rigidité (MPa)	4 443 ⁽³⁾		9 315 ⁽⁶⁾
^A	Le nombre d’essais réalisés et validés est indiqué en exposant et entre parenthèses.				
^B	À partir du fond de l’excavation (SC : sol compacté, PCC : pierre concassée compactée et PU : pavés unis).				
^C	Bien que le niveau soit le même, l’élévation varie en raison de l’épaisseur différente du revêtement : dalles (D) ou pavés unis (PU).				
**	Déformation (µm) élevée générant un module de rigidité faible (MPa).				
N. D.	Non disponible				

Tableau 8 Résultats des essais de LFWD pour les sections élaborées avec le système Gator Base (SGB)

Essai ^A	Élévation du relevé (m) ^B	Paramètre mesuré	Site		
			67	114	204
LFWD	0,000 : au niveau du SC	Force (kN)	101 ⁽²⁾	45 ⁽¹⁾	91 ⁽²⁾
		Déflexion (mm)	4,744 ⁽²⁾	1,288 ⁽¹⁾	4,100 ⁽²⁾
		Module de rigidité (MPa)	6 ⁽²⁾	9 ⁽¹⁾	6 ⁽²⁾
	0,033 ou 0,084 ^C : au niveau du PPE	Force (kN)	101 ⁽²⁾	93 ⁽²⁾	93 ⁽²⁾
		Déflexion (mm)	2,332 ⁽²⁾	5,101 ⁽²⁾	5,101 ⁽²⁾
		Module de rigidité (MPa)	11 ⁽²⁾	5 ⁽²⁾	5 ⁽²⁾
	0,093 ou 0,109 ^D : au niveau des D ou PU	Force (kN)	7,9 ⁽⁴⁾	N. D.	8,0 ⁽⁸⁾
		Déflexion (mm)	0,010 ⁽⁴⁾		0,007 ⁽⁸⁾
		Module de rigidité (MPa)	3 088 ⁽⁴⁾		4 061 ⁽⁸⁾
^A	Le nombre d'essai réalisé est indiqué en exposant et entre parenthèses.				
^B	À partir du fond de l'excavation (SC : sol compacté, PPE : panneaux en polymère expansé et D : dalles ou PU : pavés unis).				
^C	Pour la section du 67, Roxton, il a été nécessaire d'ajouter environ 50 mm de PCC en raison d'une sur-excavation.				
^D	Bien que le niveau soit le même, l'élévation varie en raison de la mise en place d'environ 0,050m de PCC et de l'épaisseur différente des dalles/pavés unis.				
**	Déformation (µm) élevée générant une baisse importante du module de rigidité (MPa).				
N. D.	Non disponible				

Les résultats de LFWD obtenus pour les deux systèmes indiquent une très faible capacité des sols d'infrastructures (SC) pour chacun des sites. En effet, des modules globaux inférieurs à 30 MPa sont considérés faibles en construction routière. Rappelons que cet essai fournit un aperçu de la rigidité globale de la structure. L'ajout de la couche de PCC et de PPE ne change rien aux résultats. Le module réversible obtenu dans la couche de PCC au moyen du pénétromètre est de 72 MPa. Avec le LFWD on obtient au mieux 19 MPa. Ceci montre bien que c'est la capacité du sol d'infrastructure qui gouverne. Avec l'ajout des éléments de béton (pavés et dalles) la rigidité globale augmente de façon plus que significative. En fait, la capacité portante des deux systèmes est obtenue par la surface pavée.

La différence de module observée en surface entre le site 67 et le site 204 pour les deux systèmes s'explique par la surface de contact mobilisée lors de l'essai. La déflexion obtenue sur les dalles est plus grande parce la surface mobilisée est plus grande. Ceci produit une contrainte de contact plus faible, mais qui est ressentie sur une plus grande profondeur. La dimension du bulbe des contraintes est proportionnelle à la surface de contact de la charge. La *Figure 11* présente ce principe. Comme les sols faibles s'étendent sur une grande profondeur, les déflexions enregistrées sont plus grandes et donc les modules enregistrés sont plus faibles. De même, la différence de rigidité observée entre le MT et le SGB, pour les dalles et les pavés s'explique par la reprise des charges sur une plus grande surface par le SGB. Les PPE du SGB répartissent les charges sur une plus grande surface et offrent une contrainte de contact diminuée, mais qui agit sur une plus grande profondeur. Cette déflexion plus grande laisse croire à une rigidité plus faible. Ce qui est le cas étant donné qu'il y a plus de sols faibles mobilisés avec les PPE qu'avec la fondation granulaire.

Les résultats de LFWD sur la surface du site 114 ne sont pas disponibles due à une défaillance de l'appareil LFWD au moment des essais.

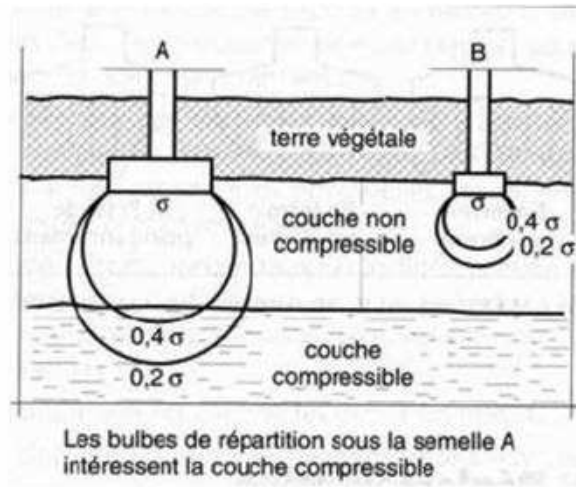


Figure 11 Principe du bulbe des contraintes à travers différentes couches de sols pour une même charge.

4.3 Essais de laboratoire

Les neuf (9) prélèvements de sols (présentés à la section **3.0 Échantillonnage des sols**) ont été transportés à notre laboratoire afin d'être examinés par le personnel et caractérisés à l'aide d'essais géotechniques. L'ensemble des résultats des essais de laboratoire sont présentés au *Tableau 9*.

Les teneurs en eau (%w) déterminées sur les sols des trois (3) sites varient de 21 à 40%. Ces valeurs de %w sont supérieures à celles optimales (20 à 26%) pour le compactage qui sont déterminées à l'aide de l'essai Proctor standard (ou normal).

Sur chacun des sols, des analyses granulométriques par tamisage et par sédimentométrie ont été réalisées (*Tableau 9*). Une représentation graphique des résultats de ces essais est présentée aux *Figures 12, 13 et 14*.

Les analyses réalisées en laboratoire permettent de classer les sols selon le système de classification unifiée des sols (USCS). Ce système de classification regroupe les sols selon la grosseur des granulats et leur consistance. Les sols rencontrés sont des argiles inorganiques de plasticités moyennes (CL) à élevées (CH) (*Tableau 9*).

De plus, l'essai de consolidation permet de déterminer que la contrainte effective de consolidation (σ'_p) des sols des sites nos 67 et 114 est de 135 et 87 kPa, respectivement. Alors, si le sol est soumis à une contrainte supérieure σ'_p , il présentera un tassement dit élevé. Notamment, ces sols présentent une résistance mécanique assez faible comparable aux argiles molles.

À priori, en se basant sur la granulométrie des sols ainsi que sur la proportion de particules fines (critères du *U.S. Corps of Engineers, USCE*), il est possible d'estimer leur susceptibilité au gel. À cet effet, pour l'ensemble des sols, le potentiel de gélivité ainsi que la perte de capacité portante lors du dégel sont très probants car ils sont classés comme des matériaux gélifs. Cette affirmation a été précisée à l'aide des essais de potentiel de ségrégation (*Tableau 9*).

Pour terminer, il est important de noter que les sols argileux présents sur les sites provenaient de remblais assez hétérogènes et que les résultats des essais de laboratoire représentent la moyenne des caractéristiques de ces sols.

Tableau 9 Résultats de l'ensemble des essais de laboratoire

Essai	Paramètre mesuré		67	114	204
Teneur en eau*	w (%)		21 ^{GP1} 23 ^{MV1}	35 ^{GP1} 35 ^{GP2} 29 ^{MV1}	32 ^{GP1} 40 ^{MV1} 34 ^{MV2}
Proctor standard (ou normal)	Teneur en eau optimale (w_{opt} , %)		20	25	26
	Masse volumique sèche opt. ($\rho_{d,opt}$, kg/m ³)		1 660	1 500	1 520
Granulométrie	par tamisage	Classe de sol**	Argile inorganique de plasticité moyenne (CL)	Argile inorganique de plasticité élevée (CH)	Argile inorganique de plasticité élevée (CH)
	par sédimentométrie				
Limites de consistance	de liquidité (w_L , %)		37	55	54
	de plasticité (w_p , %)		22	28	25
Indice	de plasticité ($I_p = w_p - w_L$, %)		15	27	29
Consolidation oedométrique	Masse volumique du sol (ρ , kg/m ³)	initiale	1 790	1 860	Non retenu pour l'analyse
		finale	2 080	1 840	
	Masse volum. sèche du sol (ρ_d , kg/m ³)	initiale	1 400	1 420	
		finale	1 650	1 420	
	Teneur en eau (w, %)	initiale	28	31	
		finale	26	29	
Degré de saturation (%)	initial	74	83		
	Contrainte eff. consolidation (σ'_p , kPa)		135	87	
Pénétromètre à cône	Résistance au cisaillement (kPa)		Non réalisé***	Non réalisé***	
Potentiel de ségrégation	Teneur en eau (w, %)		36	44	
	Mise en place de l'échantillon : pression de surcharge (kPa)		20 - 25	60	
	Susceptibilité au soulèvement par le gel (SPo, mm ² /°C*day)		8,5 : <12 Négligeable	92,9 : 75-200 Élevée	
* Pour cet essai, le numéro de l'échantillon est indiqué en exposant.					
** Il est nécessaire de se référer aux limites de consistance afin de classer adéquatement le sol.					
*** En raison de la présence de pierres, matières végétales et organiques. Ceci ne permet pas de réaliser adéquatement l'essai.					

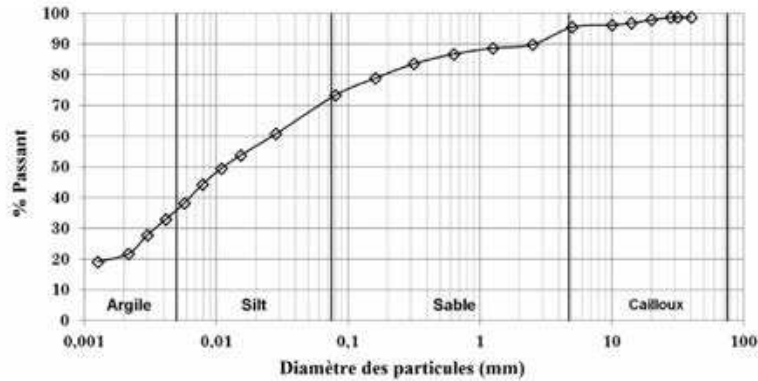


Figure 12 Résultats des analyses granulométriques par tamisage et par sédimentométrie pour le sol du 67, Croissant Roxton à Montréal Ouest

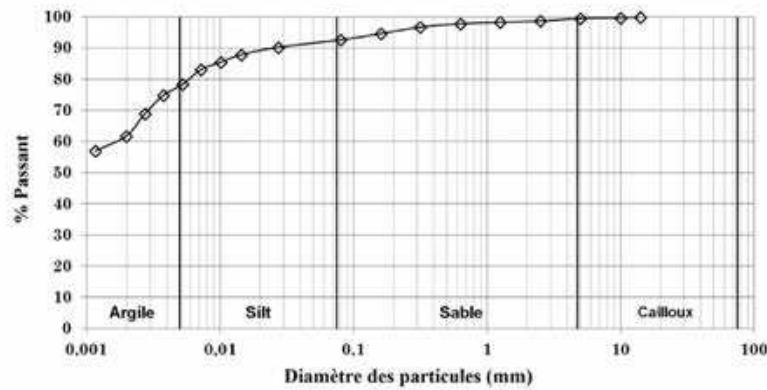


Figure 13 Résultats des analyses granulométriques par tamisage et par sédimentométrie pour le sol du 114, Rue Daigneault à Chambly

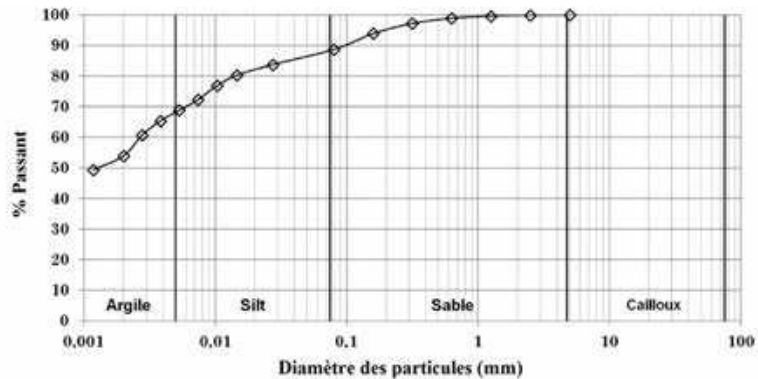


Figure 14 Résultats des analyses granulométriques par tamisage et par sédimentométrie pour le sol du 204, Av. Dufferin à Hampstead

4.4 Conclusion

Les sites investigués sont constitués de sols de remblai provenant des excavations de construction. Les essais de chantier et de laboratoire présentent les caractéristiques de ces sols à l'endroit où ces essais ont été réalisés et où les échantillons ont été prélevés. Les résultats pourraient donc varier d'un endroit à l'autre pour un même site.

Les essais de masse volumique (MV) avec cône de sable et les essais de laboratoire de Proctor standard (ou normal) révèlent que les sols ont un niveau de compactage faible (71 à 82%). De plus, les essais de laboratoire de détermination de la teneur en eau révèlent que les sols contiennent beaucoup d'eau (21 à 40%). Les essais de laboratoire de limites de consistance, d'analyses granulométriques par tamisage et par sédimentation classent les sols comme des argiles inorganiques de plasticité moyenne (CL) à élevée (CH). Également, ces essais classent ces sols comme des matériaux possiblement gélifs. Bien qu'il s'agisse d'argile dans les deux cas le CL du site 67 est peu gélif tandis que le CH du site 114 est très gélif. Toutefois, d'après la nature des remblais observés sur chacun des sites, on peut considérer ces sols (CL et CH) comme gélifs.

Les essais de chantier de pénétromètre dynamique léger à énergie variable (Panda) et de *Light Falling Weight Deflectometer* (LFWD) montrent que les sols d'infrastructures en place, exclusivement des sols de remblais argileux pour les trois sites, ont une résistance mécanique faible. Les résultats de LFWD montrent que plus la surface de contact de la charge avec le sol est grande, plus la contrainte est ressentie en profondeur et plus les déflexions sont grandes. Ceci confirme la faible capacité portante des sols d'infrastructures et explique les plus faibles valeurs de rigidité exprimées en module global.

5.0 RELEVÉS DE TEMPÉRATURE

5.1 Introduction

Une instrumentation thermique a été installée sur les trois sites à l'étude afin d'étudier le potentiel isolant des panneaux en polyéthylène expansé (PPE) du système Gator base (SGB). L'hypothèse étant que le SGB avec PPE de 19 mm d'épaisseur isole aussi bien qu'une fondation granulaire de 150 mm. L'instrumentation des sites a pour objectif de démontrer ce potentiel isolant dans une application de patio en pavés unis.

Pour chacun des sites, l'instrumentation, soit les sept (7) thermocouples et la boîte d'acquisition, a permis de relever : A) la température de l'air ambiant ou température extérieure (T_{air} , x1), B) les températures au niveau du sol sous la pierre concassée pour la section MT ($T_{\text{sur sol MT}}$, x2) et sous le lit de sable pour la section SGB ($T_{\text{sur sol SGB}}$, x2) et C) la température du sol à 150 mm de profondeur pour la section MT ($T_{\text{150 mm sol MT}}$, x1) et pour la section SGB ($T_{\text{150 mm sol SGB}}$, x1). Ici, la présentation et l'analyse des relevés de température s'effectuent un site à la fois (§ 5.2, 5.3 et 5.4). Avant de passer à la présentation et l'analyse des résultats, il est important de noter que les conditions environnementales, soit la présence de neige (pouvoir isolant), d'arbres, d'arbustes et d'habitations (créations d'ombrages et de transfert de chaleur), ont un impact non négligeable sur les performances thermiques mesurées sur les sites pour chacune des sections.

5.2 Relevés de température au 67, Croissant Roxton à Montréal Ouest

Pour le site no 67, les relevés de température en périodes froides entre les mois de septembre et avril, et ce pour toute la durée du relevé, soit du 24 septembre 2015 au 19 décembre 2018 sont présentés à la *Figure 15*. La *Figure 15* montre que les températures enregistrées pour la section MT (lignes de couleurs rouges), tout comme la température ambiante (T_{air} , ligne pointillée de couleur bleue), varient plus que celles enregistrées pour la section SGB (lignes de couleurs vertes). Globalement, pour ce site, le SGB est plus isolant que le MT. Toutefois on remarque que le thermocouple enregistrant la température à 150 mm sous la section MT n'a pas enregistré de température. Il s'agit d'un aléa de ce type d'installation. La variation de la température est beaucoup plus stable avec le SGB que le MT. De plus, les températures du SGB vont très peu sous zéro, donc très peu de gel. Des détails additionnels concernant les relevés du site no 67 sont présentés dans les *Tableaux 10* et *11*, notamment, les moyennes et les écarts types.

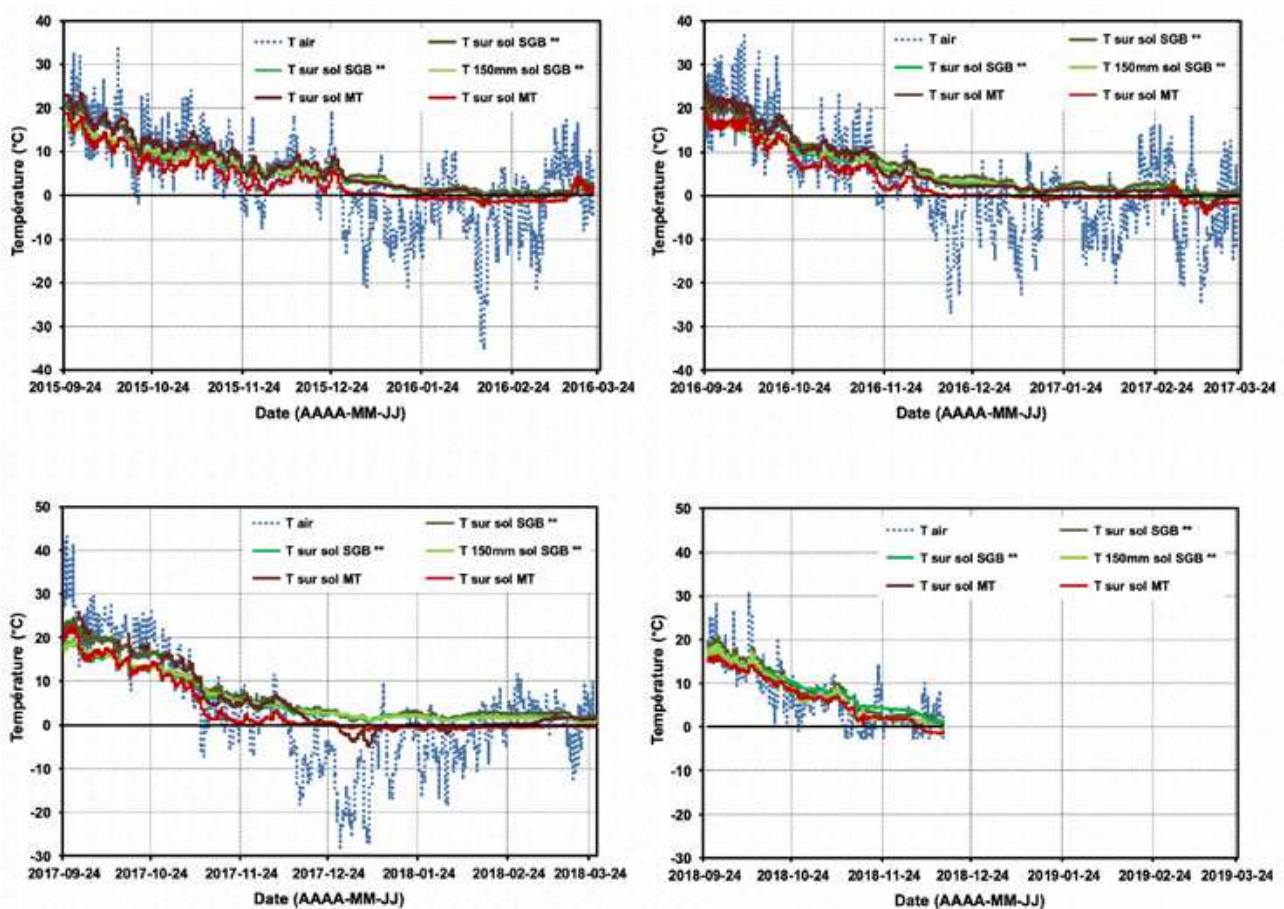


Figure 15 Relevés de température lors de la période froide au 67, Croissant Roxton à Montréal Ouest

Rapport de suivi de performances de patios instrumentés et construits selon le système conventionnel et Gator Base

La Figure 16 montre les températures enregistrées du 24 septembre 2015 au 19 décembre 2018, pour les périodes chaudes de l'année, soit du mois d'avril au mois de septembre. Encore une fois, les températures enregistrées pour la section MT varient plus que celles enregistrées pour la section SGB. Ceci signifie que la section SGB offre une meilleure isolation thermique. Globalement, pour cette période, les températures associées au SGB sont plus basses que celle de MT.

Ces résultats doivent cependant être nuancés, car la disposition du patio aux divers éléments de la cour (maison, meuble, air conditionné, arbustes, haie, clôture, etc.), peuvent avoir un effet sur le mouvement de l'air et sur l'exposition au soleil entraînant des variations de température localisées ayant un impact sur les mesures.

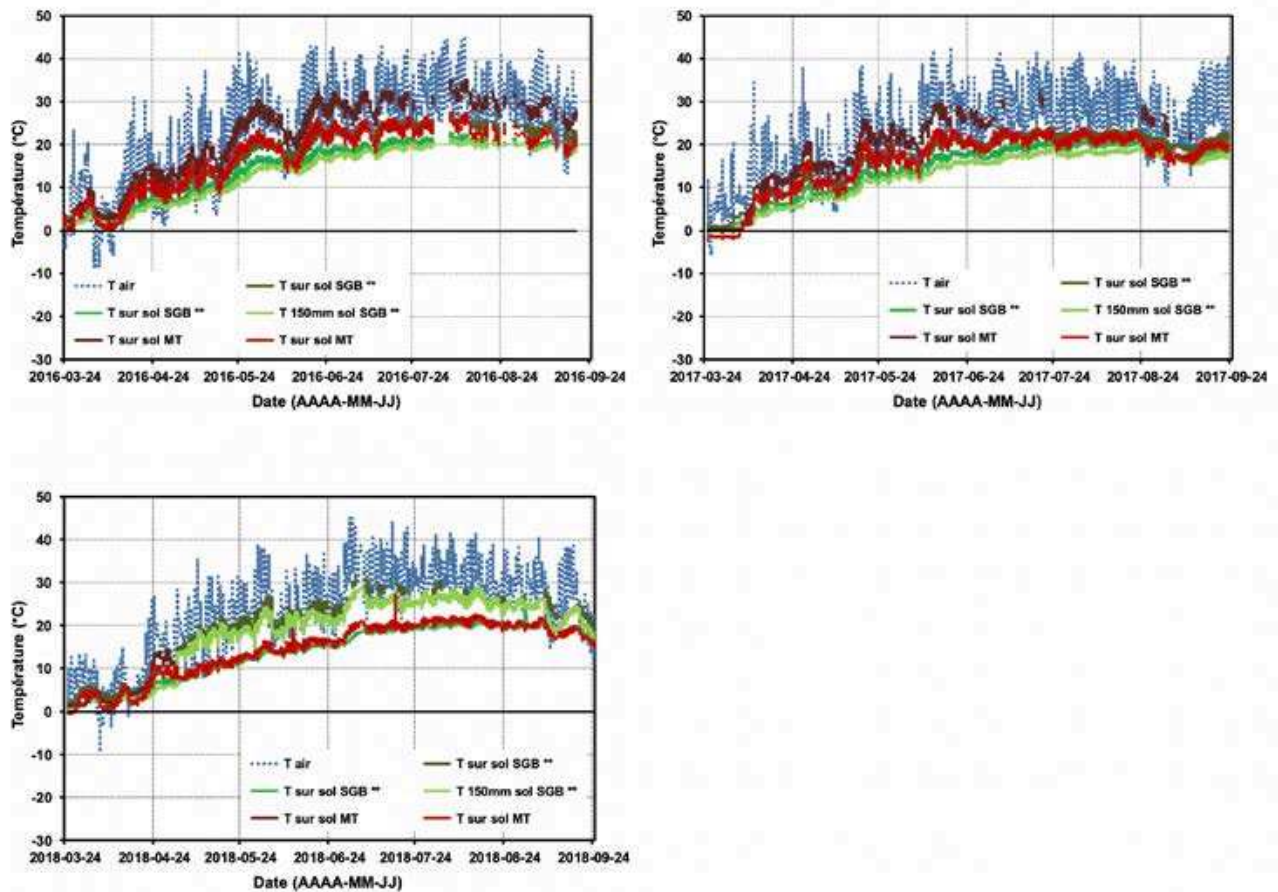


Figure 16 Relevés de température lors de la période chaude au 67, Croissant Roxton à Montréal Ouest

Rapport de suivi de performances de patios instrumentés et construits selon le système conventionnel et Gator Base

Tableau 10 Synthèse des relevés de température réalisés lors des périodes froides au 67, Croissant Roxton à Montréal Ouest

Périodes	Mesure	T _{air} T1	T _{sur sol MT} T2 *	T _{sur sol TM} T4	T _{150 mm sur sol TM} T7 *	T _{sur sol GBS} T3 **	T _{sur sol GBS} T6 **	T _{150 mm sur sol GBS} T5 **
Analyse 1 ^{ère} période froide 2015-09-24 au 2016-03-24	MIN	-35,3	-1,6	-2,6	r. t. i.	-0,4	-1,0	-0,5
	MAX	33,6	23,5	18,9	r. t. i.	20,9	16,5	16,7
	Étendue (Max-Min)	68,9	25,1	23,4	r. t. i.	22,9	17,5	17,2
	Écart type (σ)	10,2	6,0	4,9	r. t. i.	5,4	4,6	4,7
	Moy	3,3	6,2	3,4	r. t. i.	6,4	4,9	5,1
Analyse 2 ^e période froide 2016-09-24 au 2017-03-24	MIN	-27,0	-3,6	-4,3	r. t. i.	-0,02	-0,9	-0,5
	MAX	36,6	25,6	20,0	r. t. i.	22,2	18,5	18,7
	Étendue (Max-Min)	63,6	29,3	24,2	r. t. i.	22,2	19,42	19,1
	Écart type (σ)	10,6	6,7	5,7	r. t. i.	6,0	5,1	5,2
	Moy	2,3	5,9	3,3	r. t. i.	6,6	5,1	5,4
Analyse 3 ^e période froide 2017-09-24 au 2018-03-24	MIN	-28,7	-5,1	-1,3	r. t. i.	0,5	0,47	0,29
	MAX	43,3	25,9	22,5	r. t. i.	24,4	19,4	19,18
	Étendue (Max-Min)	71,9	31,0	27,0	r. t. i.	23,9	23,2	18,89
	Écart type (σ)	12,1	5,7	6,4	r. t. i.	6,5	5,3	5,46
	Moy	2,6	3,1	3,6	r. t. i.	6,9	5,5	5,7
Analyse 4 ^e période froide 2018-09-24 au 2018-12-14	MIN	-2,6	r. t. i.	-1,6	r. t. i.	0,6	1,2	-0,4
	MAX	30,8	r. t. i.	16,5	r. t. i.	20,3	16,8	18,8
	Étendue (Max-Min)	33,4	r. t. i.	18,0	r. t. i.	19,7	15,7	20,9
	Écart type (σ)	6,5	r. t. i.	5,2	r. t. i.	5,6	4,7	5,6
	Moy	6,7	r. t. i.	6,6	r. t. i.	8,5	8,6	7,2
* Relevé de température inadéquat (r. t. i.) car il présente une grande similitude avec celui de T _{air}								
** Section SGB avantagée, comparativement à celle MT, car 51 mm de pierre concassée de calibre 0-20 mm ont été ajoutée au design initialement prévue afin de combler une sur-excavation.								

Rapport de suivi de performances de patios instrumentés et construits selon le système conventionnel et Gator Base

Tableau 11 Synthèse des relevés de température réalisés lors des périodes chaudes au 67, Croissant Roxton à Montréal Ouest

Périodes	Mesure	T _{air} T1	T _{sur sol MT} T2 *	T _{sur sol TM} T4	T _{150 mm sur sol TM} T7 *	T _{sur sol GBS} T3 **	T _{sur sol GBS} T6 **	T _{150 mm sur sol GBS} T5 **
Analyse 1 ^{ère} période chaude 2016-03-24 au 2016-09-24	MIN	-8,6	0,6	-0,9	r. t. i.	1,9	0,5	0,4
	MAX	44,6	35,0	27,4	r. t. i.	27,2	22,7	21,2
	Étendue (Max-Min)	53,3	34,4	28,3	r. t. i.	25,3	22,2	20,8
	Écart type (σ)	10,9	9,6	7,7	r. t. i.	7,6	6,8	6,6
	Moy	22,8	20,8	16,4	r. t. i.	16,7	13,5	12,6
Analyse 2 ^e période chaude 2017-03-24 au 2017-09-24	MIN	-5,93	-0,46	-1,94	r. t. i.	0,55	-0,41	-0,51
	MAX	42,64	32,32	23,84	r. t. i.	23,78	21,62	19,16
	Étendue (Max-Min)	48,58	32,77	25,78	r. t. i.	23,23	22,03	22,03
	Écart type (σ)	8,88	8,90	6,94	r. t. i.	6,59	6,23	5,93
	Moy	21,9	16	15,9	r. t. i.	16,5	14	12,7
Analyse 3 ^e période chaude 2018-03-24 au 2018-09-24	MIN	-9,58	r. t. i.	-0,64	r. t. i.	1,34	1,07	0,56
	MAX	45,21	r. t. i.	27,21	r. t. i.	32,32	25,80	29,02
	Étendue (Max-Min)	54,79	r. t. i.	27,85	r. t. i.	30,98	24,73	28,45
	Écart type (σ)	10,23	r. t. i.	6,62	r. t. i.	8,79	6,48	8,74
	Moy	21,1	r. t. i.	14	r. t. i.	15,6	13,4	17,8
* Relevé de température inadéquat (r. t. i.) car il présente une grande similitude avec celui de T _{air} .								
** Section SGB avantagée, comparativement à celle MT, car 51 mm de pierre concassée de calibre 0-20 mm ont été ajoutée au design initialement prévue afin de combler une sur-excavation.								

À la suite des mesures et observations réalisées sur ce site. Il est clair que le système SGB agit comme une structure isolée, c'est-à-dire avec des températures de sol plus chaude en hiver et plus fraîche en été.

5.3 Relevés de température au 114, Rue Daigneault à Chambly

Pour le site no 114, les relevés de température en périodes froides entre les mois de septembre et avril, et ce pour toute la durée du relevé, soit du 24 septembre 2015 au 19 décembre 2018 sont présentés à la *Figure 17*. De plus, la *Figure 18* illustre les températures pour les périodes, d'avril à septembre et pour toute la durée des relevés. Les *Tableaux 12* et *13* montrent une synthèse des relevés de température pour le site no 114 lors des périodes froides et chaudes, respectivement. Sur ce site on remarque que les températures à la surface du sol d'infrastructure et à 150 mm de profondeur sont très semblables pour les deux systèmes, et ce tant pour les périodes froides que les périodes chaudes. Ces résultats confirment le pouvoir isolant supérieur du SGB par rapport au MT qui est beaucoup plus épais.

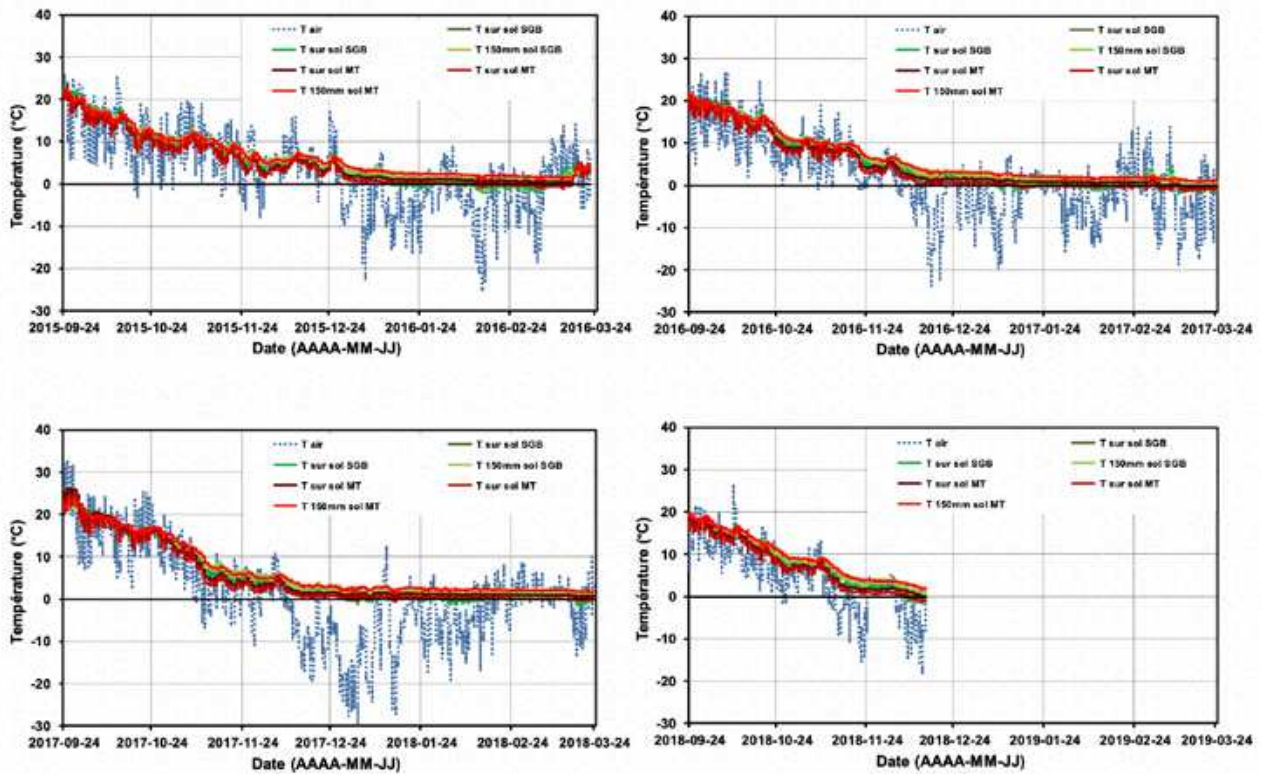


Figure 17 Relevés de température lors de la période froide au 114, Rue Daigneault à Chambly

Rapport de suivi de performances de patios instrumentés et construits selon le système conventionnel et Gator Base

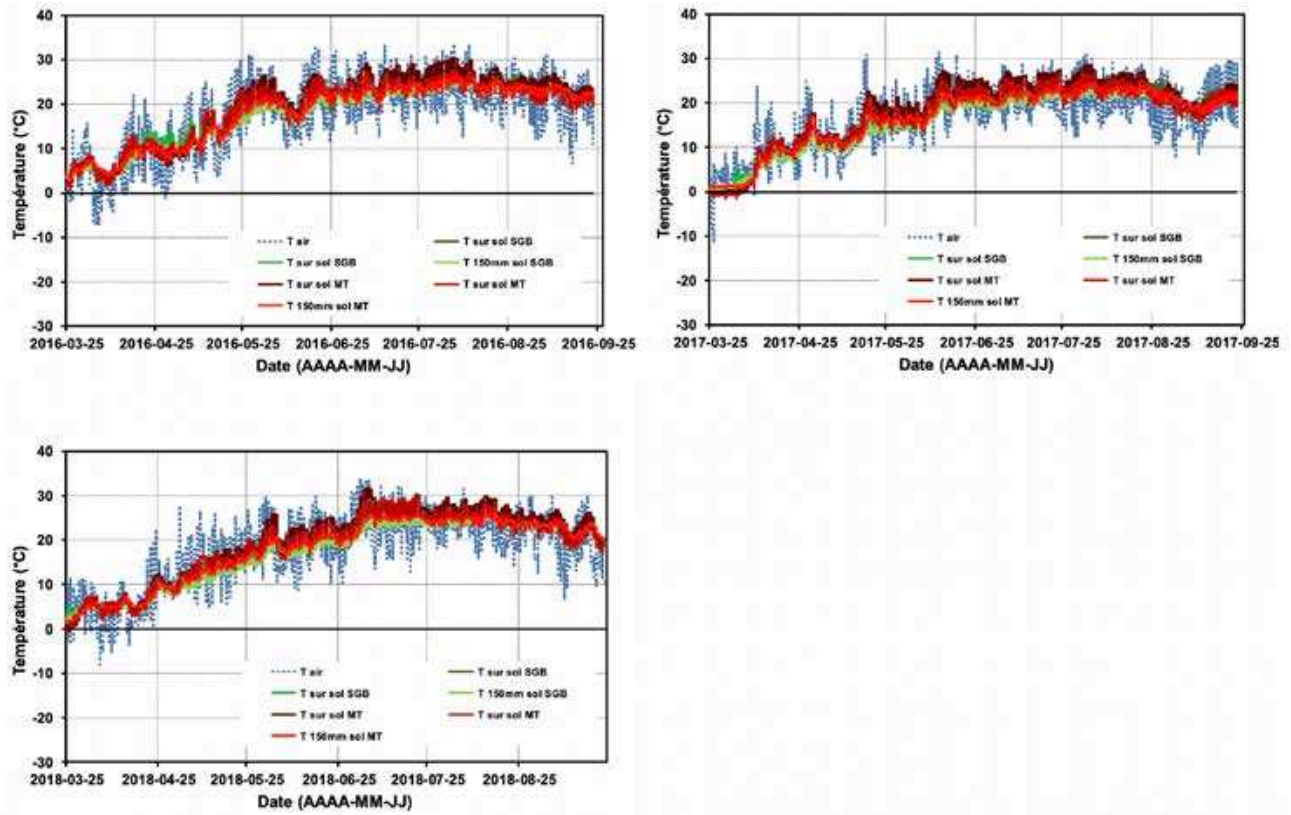


Figure 18 Relevés de température lors de la période chaude au 114, Rue Daigneault à Chambly

Rapport de suivi de performances de patios instrumentés et construits selon le système conventionnel et Gator Base

Tableau 12 Synthèse des relevés de température lors des périodes froides au 114, Rue Daigneault à Chambly

Périodes	Mesure	T _{air} T1	T _{sur sol MT} T2	T _{sur sol TM} T4	T _{150 mm sur sol TM} T7	T _{sur sol GBS} T3	T _{sur sol GBS} T6	T _{150 mm sur sol GBS} T5
Analyse 1 ^{ère} période froide 2015-09-24 au 2016-03-24	MIN	-25,5	-0,4	-1,3	0,8	-1,1	-2,0	-1,6
	MAX	26,1	22,6	23,8	22,5	23,0	23,9	22,0
	Étendue (Max-Min)	51,6	23,0	25,1	21,7	24,1	26,2	23,6
	Écart type (σ)	8,2	5,3	5,8	5,4	5,6	5,9	5,7
	Moy	8,3	11,1	10,2	11,2	10,8	10,5	10,5
Analyse 2 ^e période froide 2016-09-24 au 2017-03-24	MIN	-23,9	-0,7	-1,5	0,6	-0,7	-2,0	-1,1
	MAX	26,9	22,2	20,7	22,1	21,6	20,1	20,7
	Étendue (Max-Min)	50,7	22,9	22,2	21,5	22,3	22,4	21,9
	Écart type (σ)	8,3	5,9	6,1	5,9	6,2	6,1	6,1
	Moy	1,6	5,0	4,1	6,4	5,3	5,0	5,9
Analyse 3 ^e période froide 2017-09-24 au 2018-03-24	MIN	-30,7	-0,2	-0,8	1,3	-0,2	-1,5	-0,4
	MAX	33,0	26,1	24,6	23,5	25,6	24,4	22,5
	Étendue (Max-Min)	63,7	26,4	25,4	22,3	25,8	25,9	22,9
	Écart type (σ)	10,8	7,0	6,9	6,6	6,7	6,7	6,5
	Moy	0,9	5,6	4,8	6,9	6,0	5,5	6,4
Analyse 4 ^e période froide 2018-09-24 au 2018-12-14	MIN	-18,6	-0,4	-1,3	1,6	-0,5	-1,8	-0,4
	MAX	26,6	18,9	17,8	20,0	18,2	18,9	19,0
	Étendue (Max-Min)	45,2	19,4	19,1	18,4	18,7	20,6	19,3
	Écart type (σ)	7,6	5,7	5,8	5,4	5,6	5,7	5,4
	Moy	4,1	7,5	6,7	9,4	7,9	7,9	8,9

Tableau 13 Synthèse des relevés de température lors des périodes chaudes au 114, Rue Daigneault à Chambly

Périodes	Mesure	T _{air} T1	T _{sur sol MT} T2	T _{sur sol TM} T4	T _{150 mm sur sol TM} T7	T _{sur sol GBS} T3	T _{sur sol GBS} T6	T _{150 mm sur sol GBS} T5
Analyse 1 ^{ère} période chaude 2016-03-24 au 2016-09-24	MIN	-7,4	1,8	0,9	3,0	1,8	1,5	1,9
	MAX	33,5	30,3	27,5	26,6	28,8	27,9	25,3
	Étendue (Max-Min)	40,9	28,5	26,6	23,6	27,0	26,4	23,4
	Écart type (σ)	8,3	8,1	7,1	7,0	7,5	7,0	6,8
	Moy	17,0	19,1	18,2	17,9	18,2	18,1	17,1
Analyse 2 ^{ème} période chaude 2017-03-24 au 2017-09-24	MIN	-11,4	-0,5	-1,6	0,4	-0,7	-1,3	-0,6
	MAX	31,4	28,6	26,3	24,5	27,3	26,2	23,0
	Étendue (Max-Min)	42,9	29,1	27,9	24,1	28,0	27,4	23,6
	Écart type (σ)	6,9	7,6	7,1	6,7	7,2	6,6	6,5
	Moy	16,5	18,4	17,0	16,8	17,3	16,6	15,8
Analyse 3 ^{ème} période chaude 2018-03-24 au 2018-09-24	MIN	-7,9	0,4	-0,8	1,2	0,9	1,3	0,9
	MAX	34,0	31,7	29,5	25,9	28,8	28,7	25,8
	Étendue (Max-Min)	41,9	31,3	30,3	24,7	27,9	27,4	24,9
	Écart type (σ)	8,2	8,2	7,7	7,3	7,5	7,5	7,2
	Moy	17,4	19,5	18,2	17,8	18,0	18,1	16,9

5.4 Relevés de température au 204, Av. Dufferin à Hampstead

Pour le site no 204, les résultats obtenus pour la durée totale des relevés sont incomplets. En effet, le système d'acquisition de données a eu des ratés et les quelques tentatives entreprises afin de corriger ce problème se sont montrées infructueuses. Malgré tout, les résultats sont présentés aux *Figures 19* et *20*. On observe la même tendance que pour le site 114, c'est-à-dire des températures très semblables pour les deux systèmes.

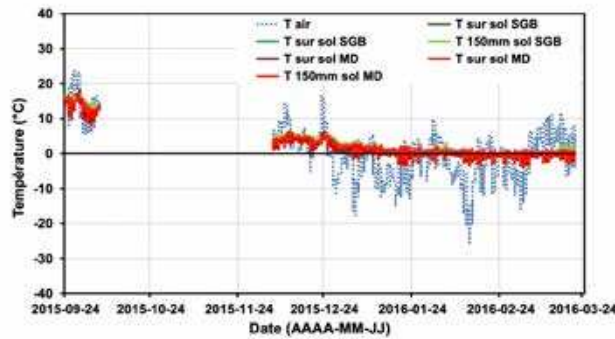


Figure 19 Relevés de température lors de la période froide au 204, Av. Dufferin à Hampstead

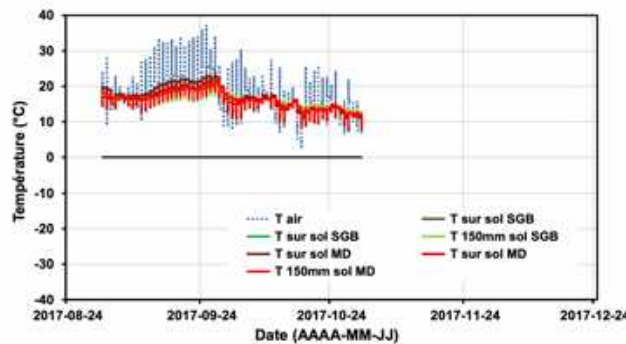


Figure 20 Relevés de température lors de la période chaude au 204, Av. Dufferin à Hampstead

Les *Tableaux 14* et *15* montrent une synthèse des relevés de température disponibles pour le site no 204. Ces Tableaux indiquent que les températures enregistrées pour la section SGB (valeurs de couleurs vertes) varient juste un peu plus que celles pour la section MT (valeurs de couleurs rouges).

Tableau 14 Synthèse des relevés de température lors de la période froide au 204, Av. Dufferin à Hampstead

Période	Mesure	T _{air} T1	T _{sur sol MT} T2	T _{sur sol TM} T4	T _{150 mm sur sol TM} T7	T _{sur sol GBS} T3	T _{sur sol GBS} T6	T _{150 mm sur sol GBS} T5
Analyse période froide 2015-09-24 au 2016-03-24	MIN	-26,0	-3,5	-4,0	-3,1	-3,7	-3,8	-3,5
	MAX	23,7	18,3	18,1	16,9	18,5	17,8	17,3
	Étendue (Max-Min)	49,7	21,8	22,1	20,0	22,2	21,6	20,8
	Écart type (σ)	7,8	4,1	4,1	4,2	4,4	4,4	4,4
	Moy	-0,87	2,1	1,8	2,6	2,3	2,5	2,9

Tableau 15 Synthèse des relevés de température lors de la période chaude au 204, Av. Dufferin à Hampstead

Période	Mesure	T _{air} T1	T _{sur sol MT} T2	T _{sur sol TM} T4	T _{150 mm sur sol TM} T7	T _{sur sol GBS} T3	T _{sur sol GBS} T6	T _{150 mm sur sol GBS} T5
Analyse période chaude 2017-09-24 au 2017-11-24	MIN	2,5	7,8	7,8	8,6	9,8	9,2	9,1
	MAX	37,2	23,7	23,0	21,7	20,7	22,2	22,0
	Étendue (Max-Min)	34,7	15,8	15,2	13,1	11,0	13,0	12,8
	Écart type (σ)	5,9	3,2	2,8	2,4	2,0	2,4	2,3
	Moy	17,3	16,4	15,6	16	16,1	15,9	16,1

5.5 Conclusion de section

Dans le rapport de 2014, la valeur R pour le PPE était de 0,6319 m²*K/W pour 25,4 mm d'épaisseur soit 3,617 hr*°F*pi²/BTU par pouce d'épaisseur dans le système impérial. Selon Berraha et al (2016), la valeur de R pour la pierre concassée sèche bien compacté est de 0,098 m²*K/W ou 0,559 hr*°F*pi²/BTU par pouce d'épaisseur. Le rapport des valeur R (R_{PPE}/R₀₋₂₀) est égal à l'inverse des épaisseurs (e₀₋₂₀/e_{PPE}), soit au voisinage de 6,5.

Les relevés de température réalisés sur les trois (3) sites, permet d'affirmer que la différence entre les sections MT et SGB est négligeable. À cet effet, il est possible d'affirmer que la section élaborée avec le système Gator Base (SGB) constitué de panneaux en polymère expansé (PPE) présente une résistance thermique similaire à la section construite selon la méthode traditionnelle (MT) élaborée avec de la pierre concassée compactée (PCC) et ce pour une épaisseur plus de 6 fois moindre.

6.0 RELEVÉS TOPOGRAPHIQUES

6.1 Introduction

Ces relevés d'élévation ont été réalisés afin de comparer la capacité structurale du système de pavés unis Gator Base (SGB) avec la méthode traditionnelle (MT). L'objectif étant de démontrer que les deux systèmes se valent pour une utilisation comme patio. Afin de réaliser les relevés topographique (ou de profils) des sections de pavés unis, une station totale robotisée a été utilisée. De plus, des cordes, des craies de couleurs et une caméra numérique ont été requises.

6.2 Réalisation et emplacement des relevés

À ce jour, six (6) relevés topographiques ont été effectués, l'un, juste après la construction des sections, les autres à intervalles de six mois et un an, et ce sur une période de trois ans. Les relevés effectués à la fin de la période de gel étaient facultatifs aux engagements contractuels. Le *Tableau 16* indique la date des relevés. Les relevés de profil s'effectuent en quadrillant chacun des patios. Le nombre de points (relevés ponctuels) est le même pour chacune des sections du patio d'un même site. Les *Figures 21, 22 et 23* illustrent l'emplacement des points (relevés ponctuels) de profil accomplis à chacun des sites.

Tableau 16 Date de réalisation des relevés par site

Site \ Relevés	67	114	204
1 ^{er} relevé	2015-09-24	2015-09-24	2015-09-25
2 ^e relevé	2016-03-22	2016-03-22	Not realized due to material storage and snow
3 ^e relevé	2016-09-19	2016-09-19	2016-09-19
4 ^e relevé	2017-10-31	2017-10-31	2017-10-31
5 ^e relevé	2018-05-07	Not realized due to material storage and snow	2018-05-07
6 ^e relevé	2018-12-14	2018-12-14	2018-12-14

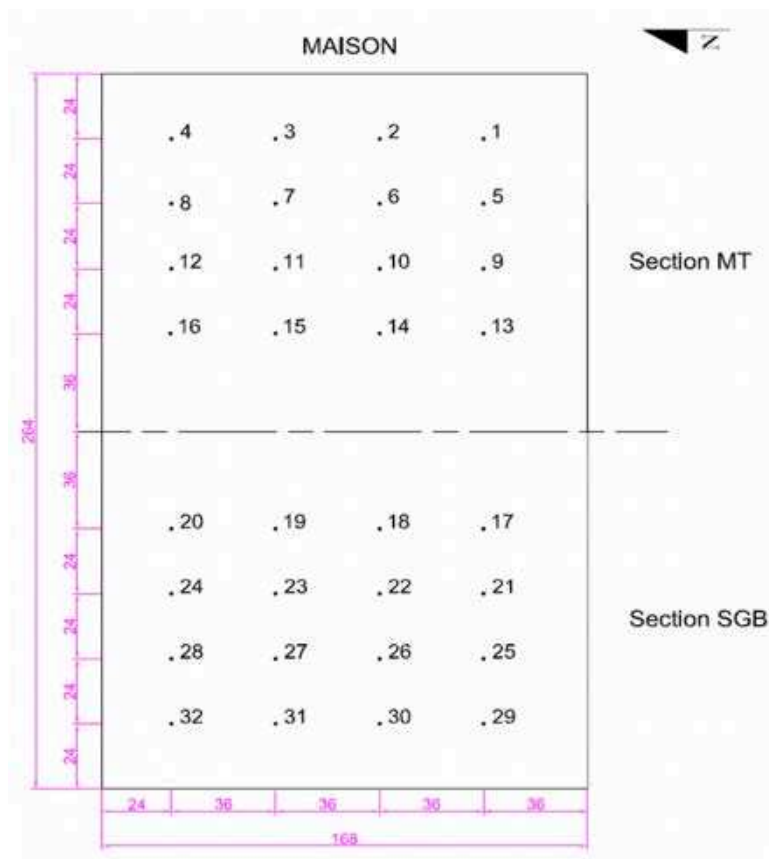


Figure 21 Emplacement des relevés ponctuels de profil au 67, Croissant Roxton à Montréal Ouest

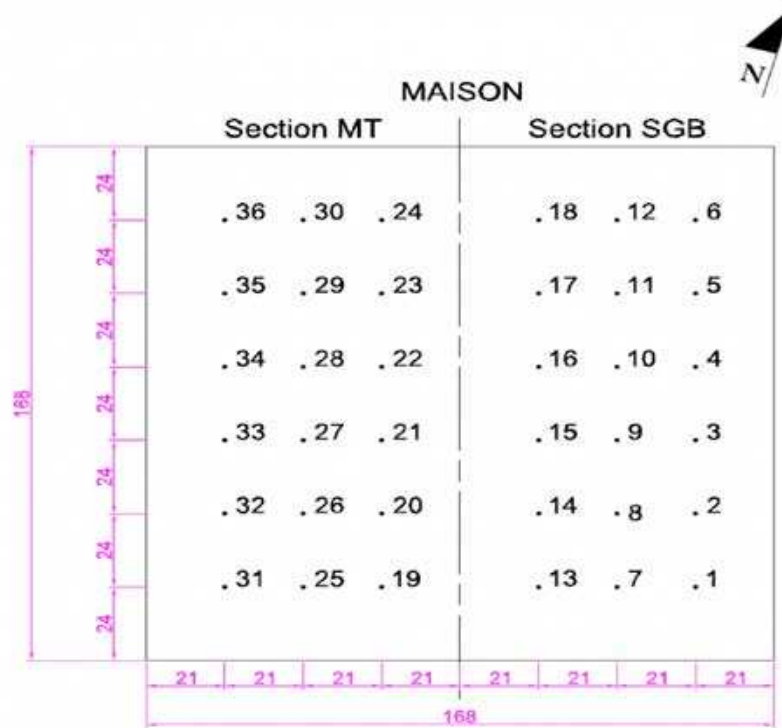


Figure 22 Emplacement des relevés ponctuels de profil au 114, Rue Daigneault à Chambly

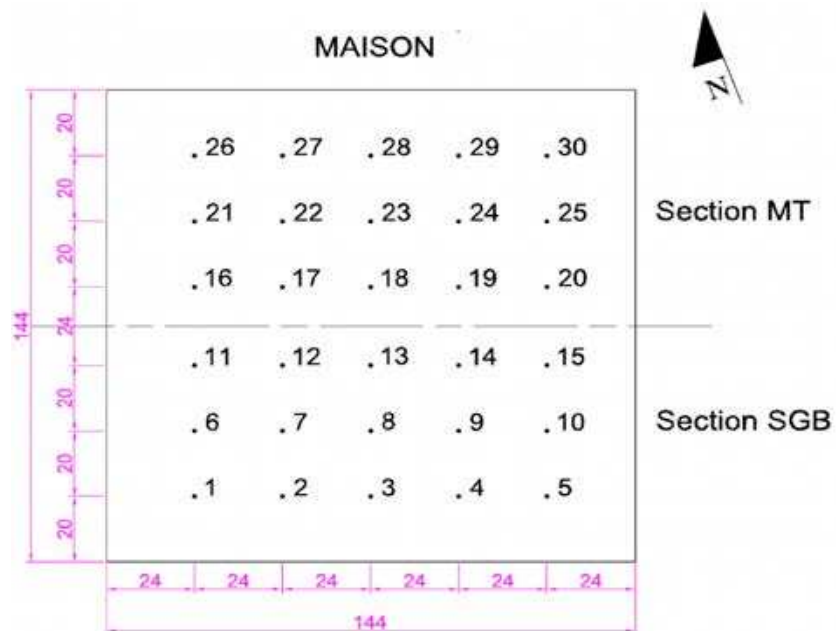


Figure 23 Emplacement des relevés ponctuels de profil au 204, Av. Dufferin à Hampstead

6.3 Profil initial des sections et analyses des résultats

L'analyse des résultats est faite de façon relative, c'est-à-dire que les déplacements de la surface pour chacun des sites sont évalués sur la base de la surface initiale. À l'aide du 1er relevé, le profil initial des sections peut être établi. Les Figures 24, 25 et 26 illustrent le profil initial des sections pour chaque site. La valeur d'élévation des sections est relative à l'élévation arbitraire, mais elle permet d'apprécier les points hauts et bas & les pentes utilisées lors de la construction des sections. De plus elle permet de suivre les fluctuations de la surface à chaque relevé et ce toujours par rapport à l'élévation initiale. Pour l'ensemble des sites, l'analyse des élévations révèle que l'écoulement de l'eau à la surface des pavés va nécessairement s'effectuer vers les sections SGB (Figures 24, 25 et 26).

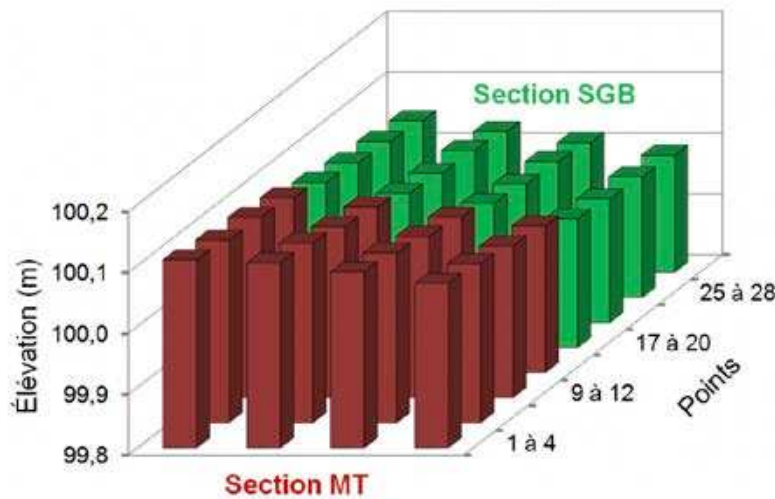


Figure 24 Le profil initial des sections au 67, Croissant Roxton à Montréal Ouest

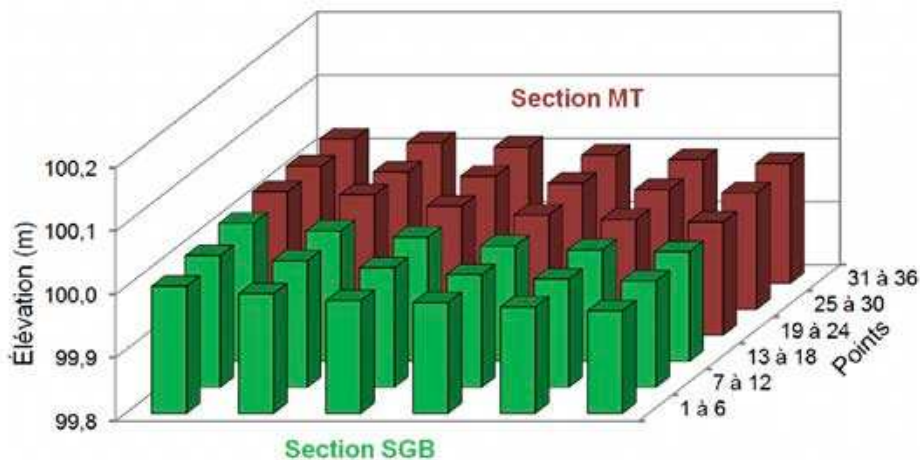


Figure 25 Le profil initial des sections au 114, Rue Daigneault à Chambly

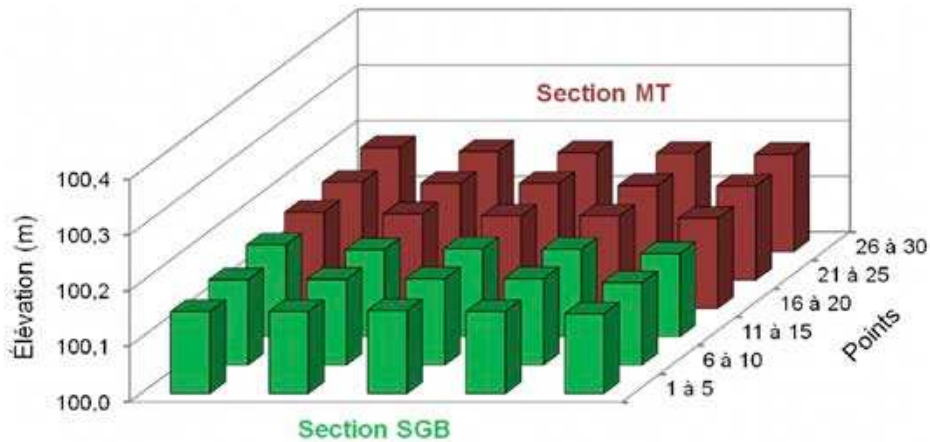


Figure 26 Le profil initial des sections au 204, Av. Dufferin à Hampstead

6.4 Évolution du profil des sections pour le site 67 de l'automne 2015 à l'automne 2018

À partir du 1er relevé (sept. 2015) et du 3ème relevé (sept. 2016) d'un même site, il est possible de vérifier, après une année, l'évolution du profil d'un patio après le premier hiver où le soulèvement est à son maximum. La Figure 27 A montre les variations d'élévation (Δ) ponctuelles avec une approche 3D. On peut y voir l'emplacement des déformations. Bien qu'intéressante, cette représentation ne permet pas d'apprécier correctement l'amplitude des déformations. La Figure 27 B présente les mêmes résultats en 2D. On y voit mieux l'amplitude des déformations. Des valeurs positives de Δ indiquent un soulèvement du patio tandis que des valeurs négatives indiquent un affaissement. La Figure 28 présente l'ensemble des relevés à la façon 2D pour le site 67. Les autres résultats pour ce site sont présentés en annexe.

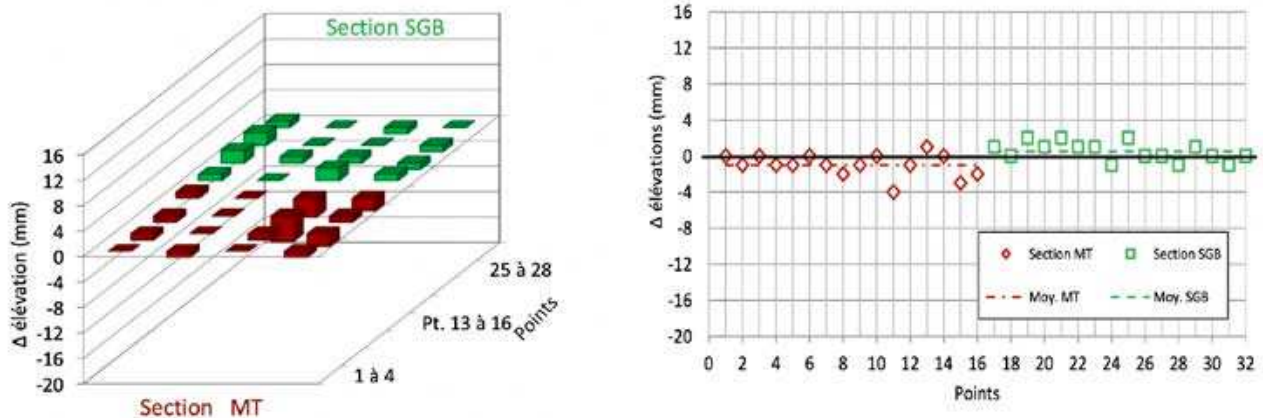


Figure 27 Écart d'élévation entre sept. 2015 et sept. 2016 au 67, Croissant Roxton à Montréal Ouest : A) Représentation 3D ; B) Représentation 2D

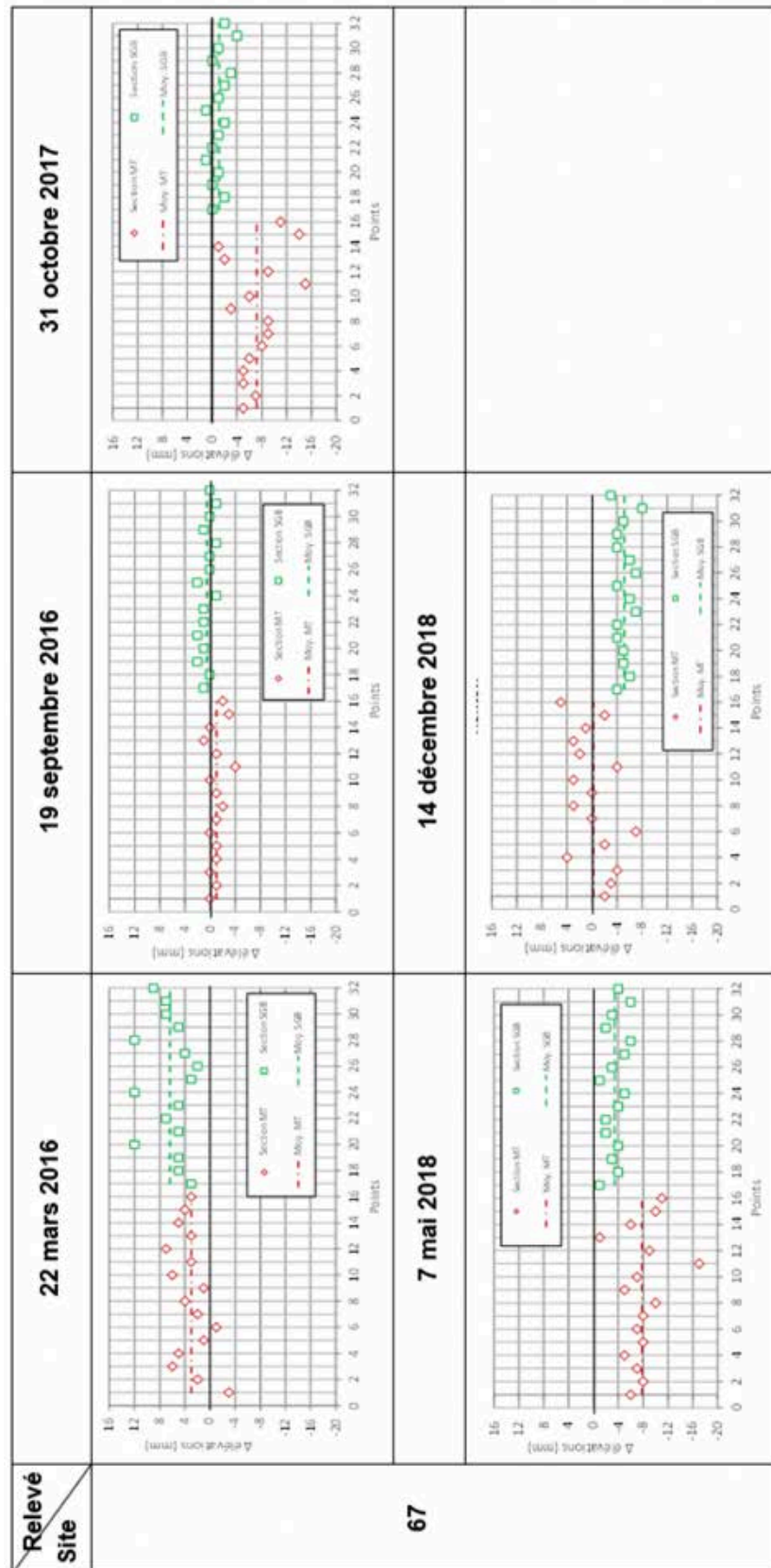


Figure 28 Écart d'élevation pour toute la période de relevé sur le site 67, Croissant Roxton à Montréal Ouest

Rapport de suivi de performances de patios instrumentés et construits selon le système conventionnel et Gator Base

Une analyse des résultats sur le site 67 permet de constater un léger soulèvement de la section SGB au printemps 2016, 12 mm au maximum. À l'automne 2016, le patio a repris sa place et les déformations sont faibles. Par la suite, de l'automne 2017 à l'automne 2018, c'est plutôt la section MT qui enregistre les déformations les plus importantes allant jusqu'à 16 mm, tandis que la section SGB est plutôt stable avec des déformations inférieures à 8 mm. Les données de température présentées à la *Figure 14* indique qu'il n'y a pas eu de gel sous la section SGB et très peu sous la section MT. Cependant, de l'eau peut s'être infiltrée et avoir gelée entre les pavés ou dalles et les PPE. On observe de plus un tassement progressif d'un relevé à l'autre pour les deux systèmes. Ce tassement est possiblement dû à la consolidation des sols d'infrastructure sous le patio. Ces sols sont hétérogènes et constitués d'argile de plasticité moyenne pouvant se déformer dans le temps.

6.5 Évolution du profil des sections pour le site 114 de l'automne 2015 à l'automne 2018

L'analyse des données d'élévation du site 114, présenté à la *Figure 29*, montre des déformations très faibles, de l'ordre du 4 mm de tassement pour les deux systèmes. À l'automne 2018, il y a eu de fortes précipitations, du froid et un gel fût précoce, tel qu'on peut le voir à la *Figure 16*. Ceci peut expliquer les soulèvements de 4 mm à 6 mm observés pour les deux systèmes.

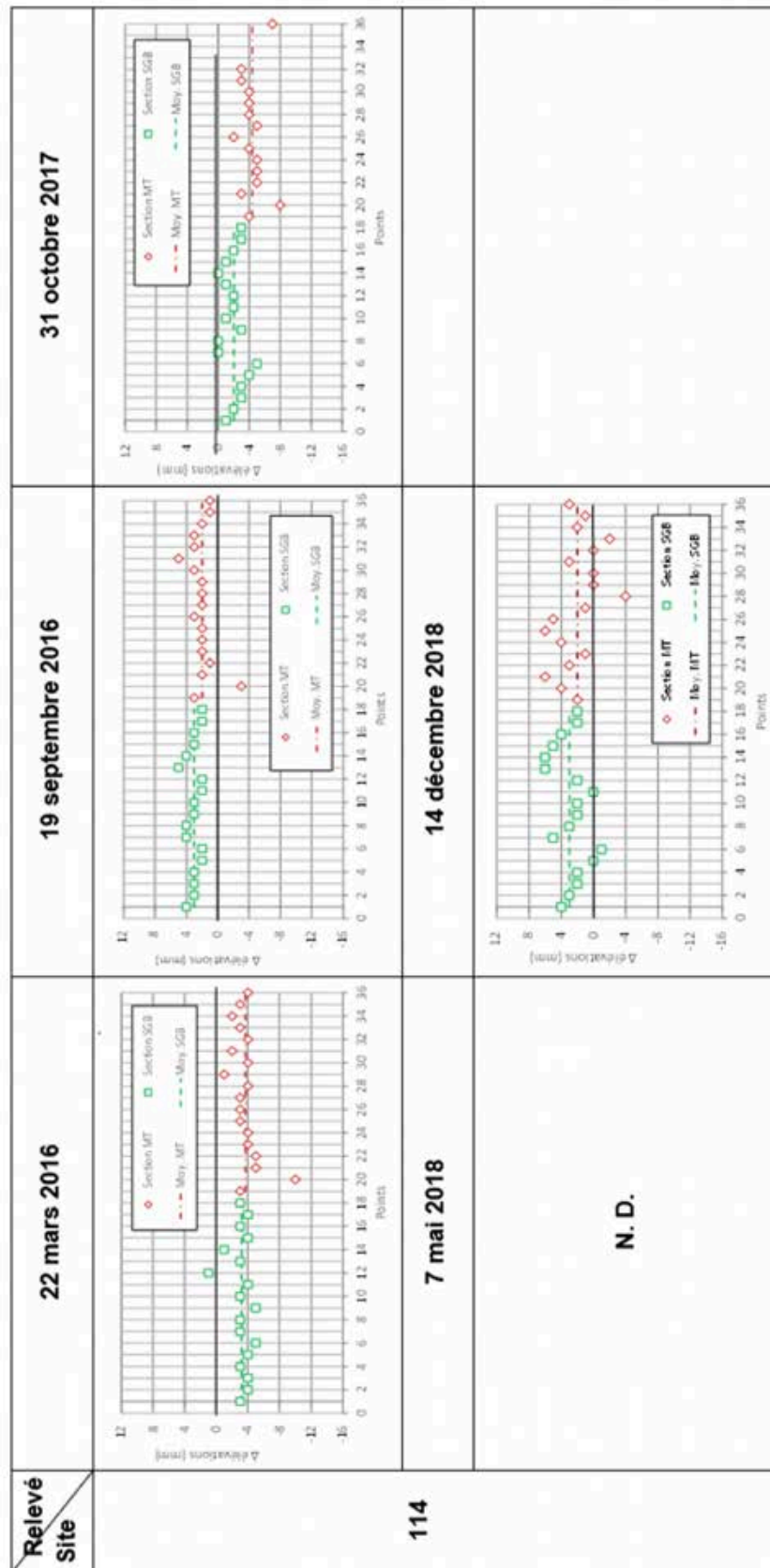


Figure 29 Écart d'élevation pour toute la période de relevé sur le site 114, rue Daigneault, Chambly

6.6 Évolution du profil des sections pour le site 204 de l'automne 2015 à l'automne 2018

L'analyse des données d'élévation du site 114, présenté à la *Figure 30*, montre un comportement très semblable au site 114. Bien qu'aucun relevé n'est pu être fait au printemps 2016 à cause de la présence de neige et de matériaux entreposés, les relevés d'automne 2016 et 2017 ainsi que du printemps 2018 montrent très peu de déformation. Le SGB est plus stable avec des déformations inférieures à 4 mm (sauf pour un point à 7 mm). Le MT fluctue un peu plus mais les déformations demeurent inférieures 6 mm (sauf pour deux points à 8 mm et 10 mm). Comme pour le site précédent, on observe un tassement progressif de la surface d'un relevé à l'autre dû à la consolidation des sols d'infrastructure.

Cependant, à l'automne 2018 il y a eu de fortes précipitations, du froid et un gel fût précoce. Ceci peut expliquer les soulèvements observés à cette période. Pour la section SGB on passe d'une élévation moyenne de -2 mm (au printemps 2018) à une élévation moyenne de +1 mm à l'automne 2018, un différentiel de 3 mm. Pour la section MT on passe d'une élévation moyenne de -6 mm au printemps 2018 à une élévation moyenne de +5 mm à l'automne 2018, un différentiel de 11 mm.

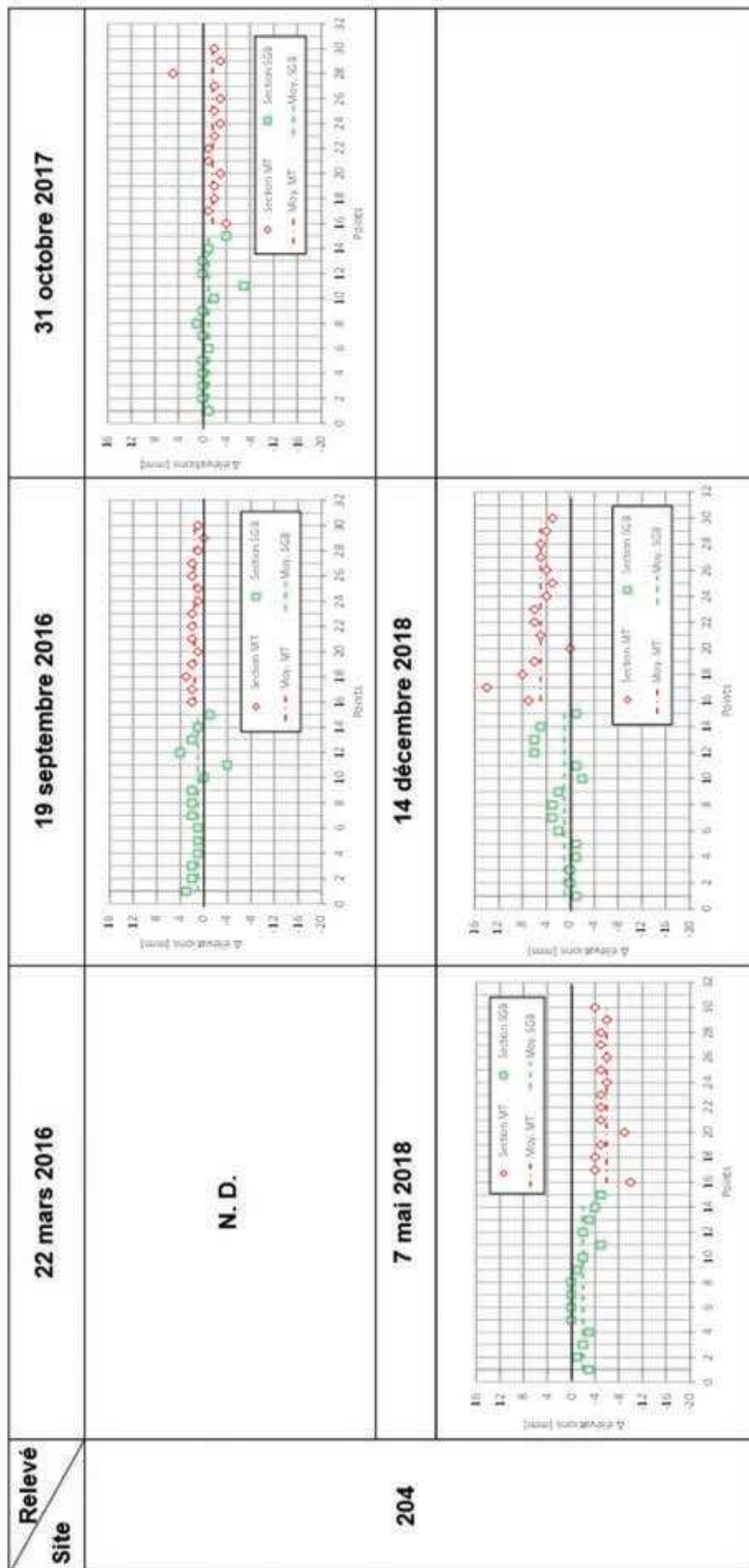


Figure 30 Écart d'élevation pour toute la période de relevé sur le site 204, Av. Dufferin à Hampstead

6.7 Conclusion de section

L'analyse simultanée des trois sites à l'étude en relation avec les relevés de température montre que les déformations observées sur tous les sites pour les deux systèmes, SGB et MT sont relativement faibles. Une certaine consolidation des sols d'infrastructures est observable d'un relevé à l'autre. Les déformations sont toujours plus faibles et plus stables sur les sections SGB que sur les sections MT. Les faibles fluctuations et amplitudes des déformations du système Gator Base indique une meilleure répartition des charges. Les charges du SGB proprement dit étant plus faible à cause de sa plus faible épaisseur, il sollicite moins les sols d'infrastructure et engendre moins de déformation par consolidation que le MT. De la même façon, les charges vives appliquées sur la surface du patio sont mieux réparties et génère moins de déformations ponctuelles.

À l'automne 2018 les précipitations importantes et le gel précoce ont entraîné des soulèvements sur tous les sites et toutes les sections sauf la section SGB du site 67. Les soulèvements observés sont toujours plus grands pour les sections MT que les sections SGB. Ceci montre que le SGB se comporte mieux en conditions humides et gelées.

7.0 CONCLUSION

Les essais de chantier et de laboratoire ont permis de constater que les sols d'infrastructures en place sous les sections (des remblais), sont des argiles inorganiques, moyennement à fortement plastique (CL à CH), qu'ils possèdent une densité très faible, qu'ils contiennent beaucoup d'eau, qu'ils ont une résistance mécanique faible similaire à des argiles fermes à molles, et qu'ils sont gélifs. Ces sols peuvent se tasser par consolidation sous faible chargement. Globalement, il ne s'agit pas de bons sols pour la construction.

Les mesures de températures montrent un comportement quasi identique pour les deux systèmes étudiés. Les deux systèmes offrent une protection au gel équivalente et limitent les impacts du gel sur les sols d'infrastructures. Toutefois, étant donnée la faible épaisseur du SGB par rapport au MT, le pouvoir isolant du SGB par millimètre d'épaisseur est très supérieur à celui du MT. De plus, le SGB semble offrir un meilleur drainage en surface ce qui limite les déplacements différentiels à la surface du sol d'infrastructure s'il y a du gel.

Les relevés d'élévation montrent un meilleur comportement du SGB. Les tassements à long terme sont plus faibles à cause de la plus faible charge transmise au sol par le système. En effet, le MT possède une couche de pierre concassée de 150 mm d'épaisseur qui applique une charge de 300 kg au mètre carré supplémentaire par rapport au SGB. De plus, la superficie des PPE permet un transfert de charge mieux répartie qui limite les déplacements ponctuels et offre donc une surface plus unie que le MT.

En conclusion, ces deux systèmes sont au minimum équivalents, sinon le SGB est supérieur en termes de drainage de surface, de résistance au tassement de consolidation et de qualité d'uni de la surface.

Rapport de suivi de performances de patios instrumentés et construits selon le système conventionnel et Gator Base

8.0 LIMITATIONS DE L'ÉTUDE

Ce rapport est destiné uniquement au client pour qui il a été préparé. Les informations qui y sont contenues sont données au meilleur de notre connaissance et à la lumière des données disponibles à l'**École de technologie supérieure** au moment de sa rédaction.

Ce rapport doit être pris comme un tout et aucune de ses parties ne peut être utilisée isolément. Tout usage que pourrait en faire une tierce partie ou toute décision basée sur son contenu prise par cette tierce partie est la responsabilité de cette dernière.

Les conclusions et recommandations présentées dans ce rapport sont basées sur notre compréhension actuelle du projet.

Il est important de souligner qu'une étude géotechnique consiste en un échantillonnage ponctuel d'un site et que les recommandations émises découlent des résultats obtenus aux emplacements des sondages seulement. Il est par la suite présumé que ces conditions de sols sont représentatives de l'ensemble de la stratigraphie du site.

Nous espérons que le présent rapport sera à votre entière satisfaction. N'hésitez pas à communiquer avec nous pour de plus amples renseignements.

Michel Vaillancourt, ing., Ph.D.
Professeur – Département de génie de la construction

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

TABLE DES MATIÈRES

1.0	INTRODUCTION	2
2.0	DESCRIPTION DES SITES, SECTIONS ET INSTRUMENTATION	3
3.0	ÉCHANTILLONAGE DES SOLS	8
4.0	ESSAIS DE CARACTÉRISATION	10
4.1	Introduction	10
4.2	Essais de chantier	10
4.3	Essais de laboratoire	17
4.4	Conclusion	20
5.0	RELEVÉS DE TEMPÉRATURE	20
5.1	Introduction	20
5.2	Relevés de température au 67, Croissant Roxton à Montréal Ouest	21
5.3	Relevés de température au 114, Rue Daigneault à Chambly	25
5.4	Relevés de température au 204, Av. Dufferin à Hampstead	28
5.5	Conclusion de section	30
6.0	RELEVÉS TOPOGRAPHIQUES	30
6.1	Introduction	30
6.2	Réalisation et emplacement des relevés	30
6.3	Profil initial des sections et analyses des résultats	33
6.4	Évolution du profil des sections pour le site 67 de l'automne 2015 à l'automne 2018	34
6.5	Évolution du profil des sections pour le site 114 de l'automne 2015 à l'automne 2018	36
6.6	Évolution du profil des sections pour le site 204 de l'automne 2015 à l'automne 2018	38
6.7	Conclusion de section	40
7.0	CONCLUSION	40
8.0	LIMITATIONS DE L'ÉTUDE	41