

Guide

Drainage souterrain des chaussées municipales

2^e édition





MISSION DU CERIU

Mettre en œuvre toute action de transfert de connaissance et de recherche appliquée pouvant favoriser le développement du savoir-faire, des techniques, des normes et des politiques supportant la gestion durable et économique des infrastructures et la compétitivité des entreprises qui œuvrent dans le secteur.

Les Conseils permanents du CERIU

Les conseils permanents du CERIU sont des tables de concertation où les membres agissent pour guider les actions de transfert des connaissances et de développement des savoir-faire du CERIU vers une gestion intégrée des actifs municipaux. Concrètement, la **participation aux conseils permanents rend possible la réalisation de projets ciblés de recherche appliquée et le jumelage de partenaires pour leur réalisation.**



Le Conseil permanent Infrastructures de surface (CP-ISU)

Le CP-ISU œuvre à appuyer et soutenir le développement de l'expertise et des meilleures pratiques en matière de développement durable des infrastructures municipales de surface par des activités de normalisation, de diffusion, de formation, de recherche, de veille et de transfert technologique.

Le CP-ISU organise des matinées Espace Surface. Ces évènements traitent de sujets d'actualités en infrastructures de surface et sont des occasions d'échanger sur les enjeux et problématiques rencontrées. Le conseil permanent développe également des guides et des formations.

REMERCIEMENTS

Le CERIU exprime sa reconnaissance envers les membres du comité de travail pour leur engagement et leur contribution essentielle.

L'équipe

Supervision par le Conseil permanent infrastructures de surface (CP-ISU)

Coordination par
Celia Abbas, ing. M. Ing. PMP
Chargée de projets, CERIU

Recherche et rédaction :
François Duhaime, ing. Ph.D
École de technologie supérieure (ÉTS)

Membres du comité de travail

Danny Bérubé, ing.
Ingénieur, Division de la réalisation des projets de fonctionnalité
Ville de Québec

Michaël Côté, ing. FIC
Enseignant à la Technologie du Génie civil
Cégep de l'Outaouais

Sylvain Fléchais, ing.
Service de la planification des actifs et des investissements
Ville de Gatineau



Le CERIU remercie également la Ville de Québec et la firme Parallèle 54 pour leur appui financier, qui a permis la réalisation de ce projet.

À PROPOS

Le CERIU

Fondé en 1994, le Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines (CERIU) est un organisme sans but lucratif né du besoin de réhabiliter les infrastructures municipales de façon performante et à des coûts acceptables. Grâce à l'expertise variée de ses 185 membres organisationnels regroupant municipalités, entreprises, ministères, laboratoires et institutions d'enseignement et à son approche unique axée sur le partenariat et la concertation, le CERIU est l'un des seuls organismes à offrir une perspective intégrée en regard des enjeux reliés aux infrastructures urbaines. Véritable centre d'innovation, le CERIU vise à changer les mentalités et les habitudes afin de promouvoir de nouvelles manières de faire plus efficaces et plus économiques ainsi qu'à développer des outils adaptés aux besoins des municipalités et des entreprises de services publics.

Contexte

Ce guide est la 2^e édition de celui publié en 2008.
Il a deux objectifs principaux:

d'une part, rappeler les effets nuisibles de la présence d'eau dans les structures de chaussée;

d'autre part, présenter les différentes méthodes permettant d'en contrôler l'infiltration.

Il propose des solutions adaptées à des cas courants, ainsi que des outils d'analyse pour des situations plus complexes. L'objectif de cette mise à jour du guide de bonnes pratiques est d'assurer que son contenu reflète les connaissances, les normes, les technologies et les pratiques les plus récentes du domaine.

TABLE DES MATIÈRES

1.0 INTRODUCTION	08
2.0 LES CHAUSSÉES ET L'INFLUENCE DE L'EAU SUR LEUR COMPORTEMENT	09
2.1 Structure de chaussée typique dans un contexte urbain et terminologie	09
2.2 Influence de l'eau sur le comportement des chaussées	11
2.3 Coût d'un mauvais drainage des chaussées	14
3.0 BILAN HYDRIQUE DES CHAUSSÉES	15
4.0 SOLUTIONS AVEC CONCEPTION TYPIQUE	23
4.1 Drainage souterrain	23
4.2 Imperméabilisation du revêtement et drainage de surface	28
4.3 Interface chaussée – infrastructure verte	29
4.4 Fossés	30
5.0 SOLUTIONS PARTICULIÈRES	32
5.1 Modélisation des écoulements dans la structure de chaussées.	32
5.2 Choix des filtres	34
5.3 Dimensionnement des drains	36
6.0 CONCLUSION	37
7.0 RÉFÉRENCES	38

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Détermination du coefficient m selon AASHTO (1993).	33
---	----

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Structure de chaussées.	10
Figure 2: Mauvais drainage des chaussées en cas de dégel.	12
Figure 3: Pompage de particules fines.	12
Figure 4: Exemples de dommages qui peuvent être causés par un drainage de la structure de chaussée inadéquat.	13
Figure 5: Composantes du bilan hydrique des chaussée pour trois scénarios.	17
Figure 6: Ordres de grandeur de k pour certains matériaux importants dans le contexte du drainage souterrain des chaussées.	18
Figure 7: Influence des pentes sur la position de la nappe et le bilan hydrique des chaussées.	19
Figure 8: Exemple d'infrastructure verte drainante en bord de rue.	20
Figure 9: Fuseaux granulométriques du MG 20 et exemples de granulométries du MG 112.	22
Figure 10: Tuyau de drainage à l'infrastructure (TDI).	24
Figure 11: Exemples d'écran de rive lors d'une installation près d'une pente gazonnée.	25
Figure 12: Coupe-type montrant l'installation d'un écran de rive.	25
Figure 13: Exemple de géocomposite avec mini-drain qui peut être utilisé comme CDI.	26
Figure 14: Exemple de taux de fissuration de 2 220 m/km.	28
Figure 15: Géocomposites installés pour séparer la structure de chaussée et l'infrastructure verte.	29
Figure 16: Fossés.	31
Figure 17: Exemple d'entretien de fossé avec la méthode du tiers inférieur.	31
Figure 18: Exemples du degré de saturation.	33
Figure 19: Érosion interne.	35

1.0 INTRODUCTION

Les ingénieurs routiers reconnaissent depuis longtemps les effets néfastes de l'eau dans les chaussées et la nécessité de contrôler sa présence. Les conséquences de la présence d'eau peuvent être minimisées en l'empêchant de pénétrer dans la structure de chaussées et en l'évacuant le plus rapidement possible avec un système de drainage ou des matériaux avec une perméabilité élevée.

Le guide a deux objectifs principaux. Le premier objectif est de rappeler les effets néfastes de l'eau dans les structures de chaussées. Le deuxième objectif est de présenter les méthodes qui peuvent être utilisées pour contrôler la présence d'eau dans les chaussées. Des solutions sont fournies pour des cas typiques. Des outils sont aussi proposés pour l'analyse de cas plus complexes.

La gestion des eaux de surface et de l'eau dans la structure de chaussée est intimement liée. L'eau de surface qui n'est pas évacuée suffisamment rapidement après une pluie peut s'infiltrer à travers le revêtement. La gestion des eaux de surface met de plus en plus l'accent sur la réduction de l'eau de ruissellement envoyée à l'égout. L'utilisation de chaussées perméables et d'infrastructures vertes drainantes est de plus en plus fréquente. Ces solutions diminuent la pression sur les réseaux d'égout, mais elles offrent d'autres chemins à l'eau pour atteindre la structure de chaussée. Dans cette mise à jour du guide, une attention particulière est portée à la conception des systèmes de drainage souterrain, notamment dans un objectif de gestion durable des eaux de ruissellement, marquant ainsi une évolution significative par rapport à la version précédente datant de 2008.

Le guide comporte quatre parties. La première partie présente les impacts et les coûts associés à l'eau dans les chaussées. La deuxième partie présente les composantes du bilan hydrique des chaussées et les méthodes qui peuvent être utilisées pour évaluer l'importance de ces composantes pour des cas simples. La troisième partie donne des solutions pour imperméabiliser le revêtement et assurer le drainage souterrain de la structure de chaussée pour des cas typiques. La quatrième partie donne des informations supplémentaires pour les cas plus complexes où les solutions de la troisième partie doivent être adaptées, par exemple en raison de l'utilisation de matériaux granulaires inhabituels. Le contenu du guide ne touche pas la conception structurale des chaussées et la conception des systèmes de drainage pour les eaux de surface. Le lecteur intéressé par ces sujets peut se référer aux normes du ministère des Transports et de la Mobilité durable (MTMD 2024a) pour la conception structurale des chaussées et à Rivard (2011) pour le drainage des eaux de surface.

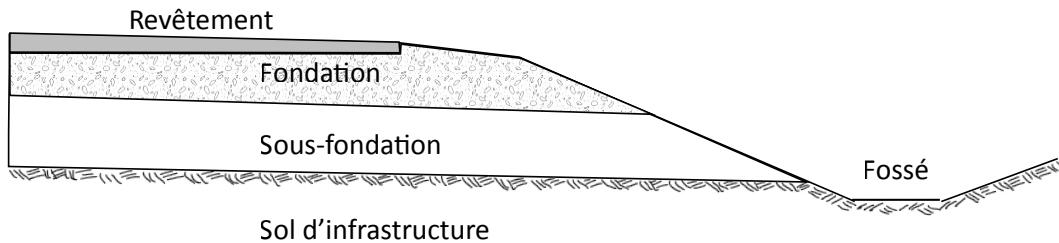
2.0 LES CHAUSSÉES ET L'INFLUENCE DE L'EAU SUR LEUR COMPORTEMENT

Cette section présente la terminologie pour les structures de chaussée et les principales conséquences de la présence d'eau dans les chaussées.

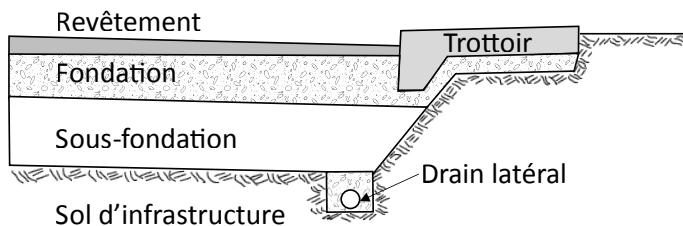
2.1 Structure de chaussée typique dans un contexte urbain et terminologie

La *figure 1a* présente une structure de chaussée typique avec un fossé. Le revêtement peut être souple (enrobé bitumineux), rigide (béton) ou mixte. Il repose sur une fondation qui assure une bonne capacité portante et une sous-fondation qui draine l'eau de la structure de chaussée et qui n'est pas susceptible au gel. La fondation et la sous-fondation sont constituées de matériaux granulaires. Le fossé permet de rabattre la nappe, de drainer l'eau présente dans la structure de chaussée et d'assurer le drainage des eaux de ruissellement. La chaussée repose sur un sol d'infrastructure dont la perméabilité et la susceptibilité au gel peuvent varier grandement d'un endroit à l'autre.

Les chaussées en milieu urbain dense peuvent présenter plusieurs particularités. Les fossés sont souvent absents et des trottoirs peuvent être présents en bordure de chaussée (*figure 1b*). En l'absence de fossés, l'eau dans la structure de chaussée doit être évacuée par un système de drainage souterrain (p. ex. tuyau de drainage perforé) ou par le sol d'infrastructure si celui-ci est suffisamment perméable et si la surface de la nappe demeure sous la ligne d'infrastructure toute l'année. En milieu urbain, les chaussées recouvrent habituellement les tranchées des conduites de réseaux municipaux. Le remblayage des tranchées peut produire des tassements différentiels et accélérer l'endommagement du revêtement (CERIU 2004). La présence de regards et de puisards peut aussi accélérer la dégradation des chaussées en milieu urbain.



a) Avec fossé



b) Avec trottoir

Figure 1 : Structure de chaussées¹.

Les structures de chaussées présentées à la *figure 1* sont données à titre d'exemples. Les structures utilisées dans les municipalités du Québec varient considérablement selon le sol d'infrastructure, l'importance de la voie de circulation, la municipalité et l'année de construction. Par exemple, une part importante du réseau routier de Montréal est constituée de chaussées mixtes mises en place sur une mince couche de pierre concassée, un profil assez différent de ceux qui sont présentés à la *figure 1*. Dans certaines situations, la structure de chaussée peut incorporer d'autres éléments. Par exemple, pour les chaussées construites sur des sols gélifs, des matériaux avec une plus faible proportion de particules fines peuvent être mis en place sur le sol d'infrastructure pour réduire les problèmes dus au gel (infrastructure améliorée et fermeture de remblai). Il est important de souligner qu'en raison de l'évolution des méthodes de conception et des budgets disponibles pour les réfections routières, une part importante du réseau routier québécois demeure sous-dimensionnée par rapport aux normes actuelles. Un bon drainage est donc d'autant plus important.

¹ Les schémas ne sont pas à l'échelle

2.2 Influence de l'eau sur le comportement des chaussées

L'eau dans les structures de chaussée a une influence sur les propriétés mécaniques des matériaux, sur l'action du gel et sur l'érosion des particules fines.

L'influence de l'eau sur les propriétés mécaniques de la chaussée prend plusieurs formes. Premièrement, la présence d'eau peut mener à des pressions interstitielles positives dans la structure de chaussée. Le concept de contrainte effective en géotechnique nous enseigne que la pression interstitielle réduit la résistance au cisaillement et la capacité portante des matériaux granulaires. L'eau a aussi une influence sur la rigidité des matériaux de la structure de chaussée. Le module de résilience, un paramètre qui décrit le rapport entre les contraintes et les déformations élastiques dans les matériaux de la chaussée, est influencé par la teneur en eau. L'effet de l'eau sur le module de résilience est plus important pour les matériaux fins, mais les matériaux grossiers comme le MG 20 sont aussi affectés par la présence d'eau. Par exemple, les valeurs du module de résilience présentées par Doucet et Doré (2004) pour des matériaux granulaires échantillonnés dans des chaussées peuvent diminuer par un facteur 2 lorsque le degré de saturation varie approximativement entre 30 % et 90 %. Finalement, la présence d'eau a aussi un impact sur les enrobés bitumineux. L'eau réduit l'adhésion entre le bitume et les agrégats (Omar et al. 2020).

La présence d'eau dans les structures de chaussée peut amplifier les problèmes de soulèvement dû au gel. Lorsque la surface de la nappe phréatique est près de la surface du sol, des lentilles de glace peuvent se former dans les sols d'infrastructure gélifs, ce qui peut entraîner des soulèvements de quelques dizaines de millimètres. Les sols argileux et silteux sont les plus susceptibles au gel. La littérature propose différents systèmes de classification pour les sols gélifs (St-Laurent 2006, Canadian Geotechnical Society 2023). Des soulèvements peuvent aussi être observés en raison du gel dans les matériaux granulaires qui ne sont pas gélifs comme ceux de la structure de chaussée. Ces déformations sont souvent associées à des variations brusques de température en hiver et à l'influence des sels de déglaçage (Martel 2001).

Au dégel, de l'eau peut rester piégée dans la fondation et la sous-fondation de la chaussée si des matériaux saturés et gelés sont présents en profondeur. Les sols saturés et gelés ont une faible perméabilité. Au printemps et pendant les redoux, le sol dégèle du haut vers le bas. Dans certains cas, le sol peut dégeler plus rapidement sous la chaussée en l'absence de l'effet isolant de la neige présente en bordure de chaussée (*figure 2*).

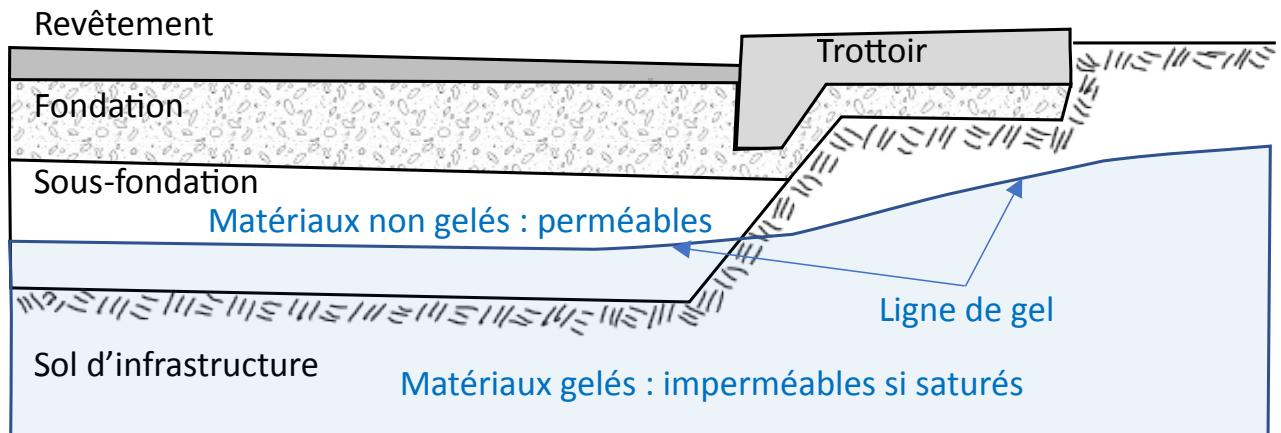


Figure 2: Mauvais drainage des chaussées en cas de dégel.



Figure 3: Pompage de particules fines.

Source : Miller et Bellinger 2014

La circulation des véhicules sur une chaussée avec une teneur en eau élevée peut entraîner des fluctuations de la pression interstitielle. Ces fluctuations peuvent induire des écoulements d'eau qui peuvent déplacer des particules fines du sol d'infrastructure et contaminer graduellement les matériaux granulaires de la structure de chaussée. Dans certains cas, les particules fines pompées par l'eau dans la structure de chaussée peuvent être visibles près des fissures dans l'enrobé bitumineux (*figure 3*).

La *figure 4* présente des exemples de désordres de la chaussée qui peuvent être causés par un mauvais drainage. La présence de lézardes est généralement associée au soulèvement dû au gel pour les sols d'infrastructure gélifs (*figure 4a*). Les variations de température brusques en hiver et les phénomènes de gel-dégel dans le revêtement et la fondation peuvent produire des soulèvements de plus faible longueur d'onde (*figure 4b*). La réduction de la capacité portante en raison d'un mauvais drainage de la chaussée peut mener à la formation de carrelage (*figure 4c*), de fissures longitudinales dans les pistes de roues et d'ornières de grande longueur d'onde (*figure 4d*). L'afflux latéral d'eau souterraine en l'absence de fossé peut mener à des désordres qui sont localisés en bordure de chaussée (*figure 4e*).



a) Lézarde associée au gel dans le sol d'infrastructure (Carrier et al. 2007).



b) fissures et soulèvements de faible amplitude associés au gel dans la structure de chaussée (Carrier et al. 2007).



c) Carrelage



d) Ornière de grande longueur d'onde

Figure 4: Exemples de dommages qui peuvent être causés par un drainage de la structure de chaussée inadéquat.

Source : Carrier et al. 2007

2.3 Coût d'un mauvais drainage des chaussées

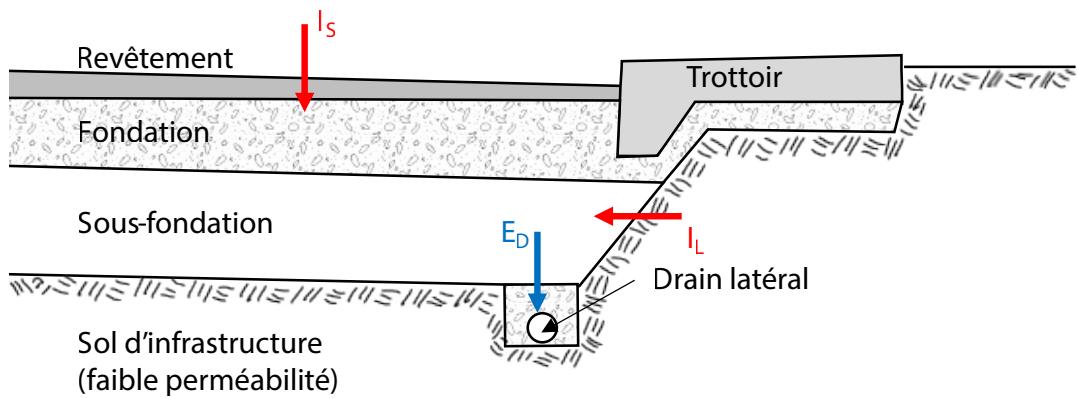
Le mauvais drainage d'une chaussée entraîne des coûts importants en raison de la réduction de la durée de vie de la chaussée. Plusieurs comparaisons ont été présentées dans la littérature (p. ex. Christopher et al. 2006; Forsyth et al. 1988). Ces comparaisons adoptent deux approches : présenter le coût d'une chaussée pour une durée de vie équivalente avec et sans drainage ou présenter la durée de vie pour les mêmes structures de chaussée avec et sans drainage. Pour les revêtements en enrobés bitumineux, Forsyth et al. (1988) et Christopher et al. (2006) ont estimé entre 20 à 40 % la réduction de coût associés à un meilleur drainage pour une chaussée en enrobé bitumineux. L'effet du mauvais drainage sur la durée de vie est encore plus marqué. Christopher et al. (2006) ont estimé à 89 % la réduction de la durée de vie pour une conception équivalente dans des situations où le drainage est qualifié de très bon ou mauvais.

Dans le contexte du Québec, Edmond (2025) a utilisé le logiciel Chaussée 2 (St-Laurent 2006) pour simuler la durée de vie de plusieurs structures de chaussées et différents niveaux d'efficacité pour le drainage souterrain. Avec la méthode empirique de conception des chaussées proposée par AASHTO (1993) et Chaussée 2, l'efficacité du drainage influence deux paramètres. Premièrement, elle influence le coefficient de drainage m . Celui-ci est relié au temps nécessaire pour drainer la chaussée après des précipitations et à la portion de l'année durant laquelle la chaussée est saturée (voir aussi le *chapitre 5*). Deuxièmement, l'efficacité du drainage influence la valeur effective du module résilient des matériaux granulaires. Entre un drainage correct où la chaussée met 1 à 7 jours à se drainer après une période de précipitation et une chaussée avec un drainage très mauvais qui est presque toujours saturée, la durée de vie est réduite d'environ 91 %. Pour obtenir une durée de vie équivalente à celle d'une chaussée avec un drainage correct pour une chaussée avec un drainage souterrain très mauvais, les coûts de construction augmentent de 23 %. Ces résultats sont cohérents avec ceux qui ont été obtenus par Christopher et al. (2006) et Forsyth et al. (1988).

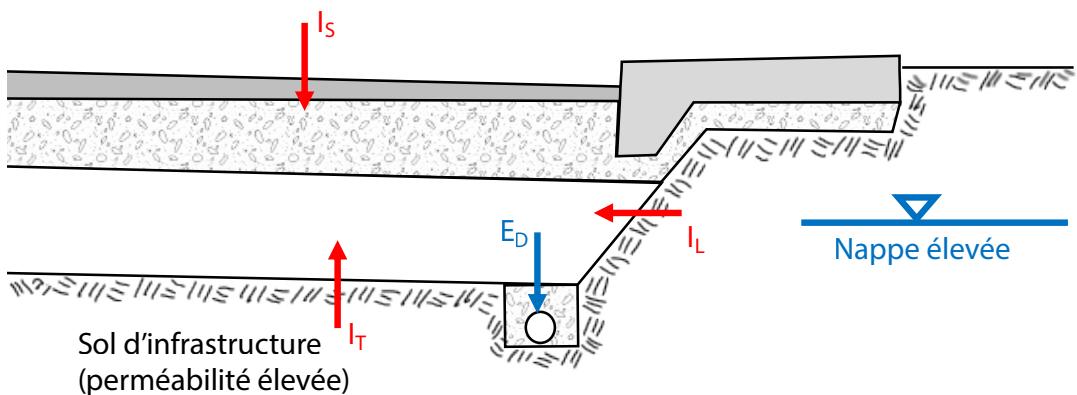
3.0 BILAN HYDRIQUE DES CHAUSSÉES

L'eau dans la chaussée provient principalement des précipitations sous forme de pluie ou de neige, de l'influx latéral d'eau dû à l'irrigation et à l'infiltration dans les terrains voisins, et de l'eau souterraine. La *figure 5* présente les composantes principales du bilan hydrique des chaussées pour trois scénarios. Les deux facteurs qui ont le plus d'influence sur le bilan hydrique sont la perméabilité du sol d'infrastructure et la hauteur de la nappe phréatique. Lorsque la perméabilité du sol d'infrastructure est faible (*figure 5a*), l'eau qui pénètre dans la structure de chaussée par les fissures du revêtement (I_s) et latéralement par les terrains avoisinants (I_L) ne peut pas s'écouler facilement vers le sol d'infrastructure, même si la nappe est profonde. En l'absence de fossé, un drainage souterrain (p. ex. drain latéral avec tuyau perforé) connecté à l'égout ou à un milieu récepteur doit alors être prévu pour évacuer l'eau de la structure de chaussée (E_D). Les méthodes de drainage souterrain seront présentées au *chapitre 4*. Quand la perméabilité du sol d'infrastructure est relativement élevée, l'eau souterraine peut s'écouler vers la structure de chaussée (I_L et I_T) si la nappe est au-dessus de la ligne d'infrastructure (*figure 5b*). Sans drainage souterrain, l'eau demeure dans la structure de chaussée. Le cas d'un sol d'infrastructure perméable et d'une surface de la nappe qui demeure sous la ligne d'infrastructure toute l'année est le cas le plus favorable pour le drainage souterrain des chaussées (*figure 5c*). Dans le cas de sols d'infrastructures perméables et de nappes profondes, il n'est pas nécessaire de prévoir un drainage souterrain.

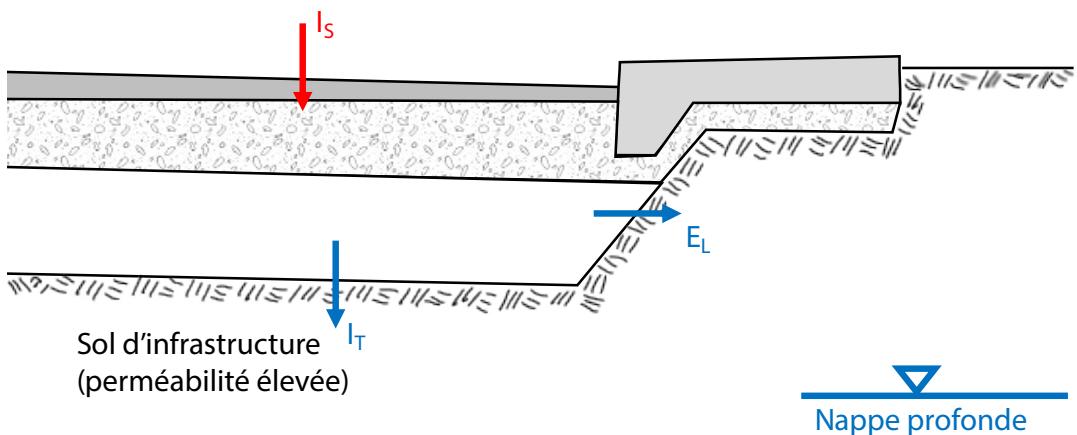
Il est très important de connaître l'ordre de grandeur du coefficient de perméabilité du sol d'infrastructure en raison de l'influence de ce paramètre sur le bilan hydrique de la chaussée. Le coefficient de perméabilité (ou conductivité hydraulique, k) du sol d'infrastructure peut être mesuré sur le terrain avec des essais de perméabilité en forage (p. ex. ASTM D6391, CAN/BNQ 2501-130, annexe B de Rivard 2001) ou avec des essais de perméabilité en surface comme l'essai au perméamètre de Guelph (SoilMoisture 2012) et les essais d'infiltromètres (p. ex. ASTM D5093). Les essais sur le terrain fournissent généralement des valeurs de k plus représentatives que les essais de laboratoire, entre autres parce qu'ils impliquent des écoulements dans un plus grand volume de sol ou de remblai. Dans le contexte du drainage souterrain des chaussées, il est généralement suffisant de connaître l'ordre de grandeur de k . On peut aussi estimer k à partir de la granulométrie du sol avec des méthodes prédictives comme la méthode de Kozeny-Carman qui s'applique à tous les sols (Chapuis et Aubertin 2003) et la méthode de Chapuis (2004) qui s'applique au sable et au gravier. Dans le cas de sols très hétérogènes, la valeur de k à l'échelle de la chaussée devrait être contrôlée par les couches plus perméables. La valeur de k utilisée pour distinguer les sols perméables et imperméables est en partie arbitraire. Christopher et al. (2006) suggèrent par exemple une valeur de 3×10^{-5} m/s. En pratique, pour être considéré perméable, le sol d'infrastructure devrait avoir une perméabilité au moins aussi élevée que les matériaux de la chaussée (MG 20, MG 112). Dans le contexte des chaussées du Québec, les sols peu perméables (*figure 5a*) correspondent surtout aux tills et aux argiles. Ces sols sont très communs dans la vallée du Saint-Laurent. Les sols perméables (*figures 5b* et *5c*) correspondent plutôt à des dépôts de sable et gravier avec peu de particules fines. Ceux-ci sont présents par exemple dans certaines municipalités où des rivières importantes ont formés des deltas (p. ex. Trois-Rivières et la rivière Saint-Maurice, Sorel et la rivière Richelieu). La *figure 6* présente quelques exemples de matériaux importants dans le contexte du drainage souterrain des chaussées au Québec ainsi que l'ordre de grandeur de leur valeur de k .



a) Sol d'infrastructure avec une faible perméabilité.



b) Nappe élevée et sol d'infrastructure perméable.



c) Nappe profonde et sol d'infrastructure perméable.

Figure 5: Composantes du bilan hydrique des chaussée pour trois scénarios.²

² I_s est le débit qui entre par les fissures du revêtement, I_L est le débit latéral, I_T est le débit qui entre ou qui sort de la structure de chaussée par le sol d'infrastructure et E_d est le débit qui s'écoule par le système de drainage.

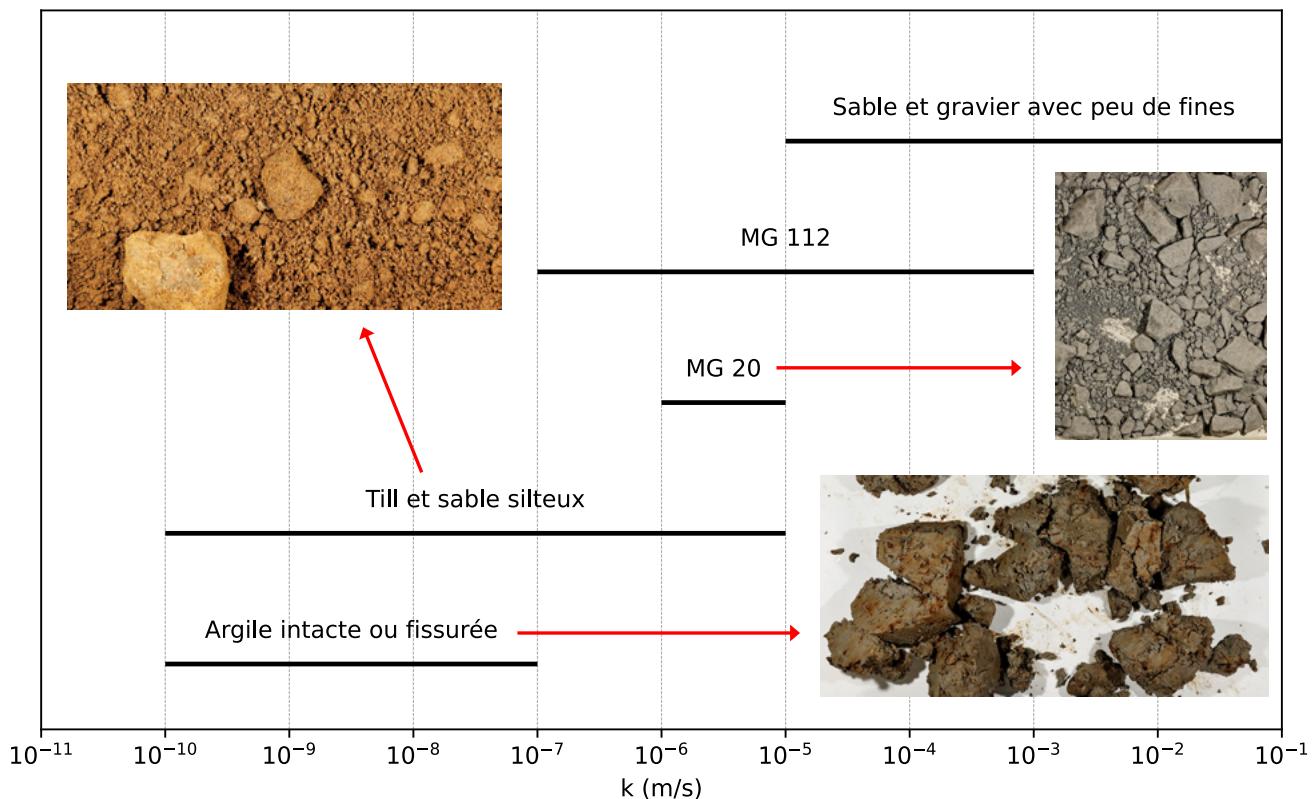


Figure 6: Ordres de grandeur de k pour certains matériaux importants dans le contexte du drainage souterrain des chaussées.

Source : Plante St-Cyr et al. 2025.

Il est aussi très important de vérifier la position de la nappe phréatique par rapport à la ligne d'infrastructure, surtout pour distinguer les scénarios des figures 5b et 5c. Il est possible de confirmer si la nappe est près de la surface en installant un tube ouvert dans un forage. La méthode d'installation pour les tubes ouverts est présentée dans les guides d'Hydro-Québec (2007) et MTQ (2010). De l'information sur la profondeur de la nappe peut aussi être obtenue à partir de tranchées (p. ex. profondeur minimale de la nappe). Il est important de considérer que le niveau de la nappe fluctue pendant l'année. La conception du drainage souterrain avec les méthodes du *chapitre 4* devrait être faite en fonction du niveau maximal de la nappe. Ce niveau est généralement atteint au printemps.

La topographie peut avoir une influence sur le niveau de la nappe et le drainage des chaussées. La surface de la nappe phréatique suit habituellement la topographie. Il est donc plus probable que le niveau de la nappe soit près de la ligne d'infrastructure pour les structures de chaussées en déblai (*figure 7a*) que pour les structures de chaussées en remblai. En présence de pentes latérales perpendiculaires à l'axe de la chaussée, le niveau de la nappe devrait être plus élevé du côté amont de la chaussée (*figure 7b*). L'ajout de drainage

souterrain est plus efficace de ce côté. Une pente parallèle à l'axe de la chaussée peut produire un écoulement d'eau dans la structure de chaussée vers le bas de la pente, surtout si la pente est forte et longue. L'ajout de drains souterrains dans la pente permet de réduire la quantité d'eau acheminée vers le point bas. L'ajout de drains au point bas permet d'évacuer rapidement l'eau en pied de talus.

En plus de dépendre du niveau de la nappe et de la perméabilité du sol d'infrastructure, le débit latéral vers la structure de chaussée (I_L à la figure 5) dépend aussi des pentes latérales et de l'infiltration par les surfaces adjacentes à la chaussée lors des pluies. La présence de pentes latérales peut diminuer l'infiltration dans les surfaces adjacentes et augmenter le ruissellement et l'infiltration sous le trottoir. La présence de terrains bien irrigués en bordure de chaussée (p. ex. pelouse bien arrosée) peut amener plus d'eau dans la structure de chaussée. Depuis quelques années, on note l'utilisation de plus en plus fréquente d'infrastructures vertes pour améliorer la qualité de l'eau de ruissellement dans les réseaux d'égouts pluviaux et réduire la quantité d'eau collectée par les égouts pluviaux et unitaires, ce qui permet de réduire les débordements (Dugué 2022). Ces infrastructures vertes prennent souvent la forme de structures d'infiltration qui peuvent avoir une influence sur le bilan hydrique de la chaussée (figure 8).

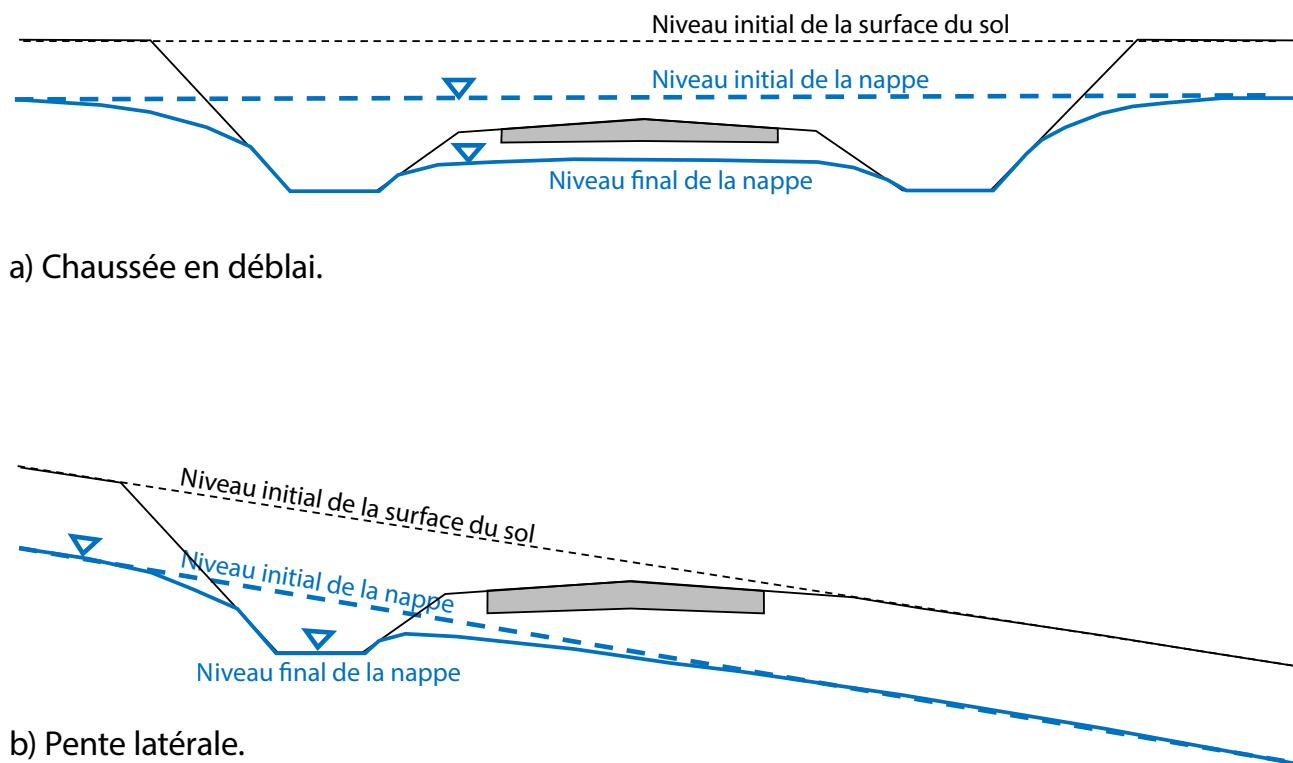


Figure 7: Influence des pentes sur la position de la nappe et le bilan hydrique des chaussées.

La composante I_s pour les trois scénarios de la *figure 5* est difficile à estimer. La perméabilité de la couche d'enrobé bitumineux et la quantité d'eau qui s'infiltra à travers celle-ci varient avec l'état de la chaussée et dépendent fortement de la fissuration. La perméabilité de la chaussée peut être mesurée sur le terrain à l'aide d'essais standardisés (p. ex. ASTM C1781). L'eau s'infiltra principalement par les fissures et les joints (joint entre trottoir et rue, joint dans le béton pour les chaussées hybrides ou mixtes, joints associés aux réparations). Le taux d'infiltration des enrobés bitumineux fissurés est très variable. Dawson et al. (2009) présentent une valeur moyenne de 2,5 mm/heure ($6,9 \times 10^{-7}$ m/s) pour un niveau de fissuration qualifié de moyen selon la classification de Miller et Bellinger (2014). En l'absence de fissures, on considère généralement que le volume d'eau qui s'écoule à travers la couche d'enrobé bitumineux est limité en raison de sa faible perméabilité. La perméabilité des enrobés varie selon la porosité, la granulométrie des agrégats, et la teneur en bitume (Dawson et al. 2009). En raison de la faible perméabilité du revêtement, même avec une fissuration moyenne, les précipitations de longue durée sont celles qui génèrent le plus d'infiltration à travers le revêtement. Par exemple, une faible précipitation automnale ou printanière de 1 mm/heure qui dure plus de 24 heures favorise d'avantage l'infiltration qu'un orage estival intensif de courte durée.

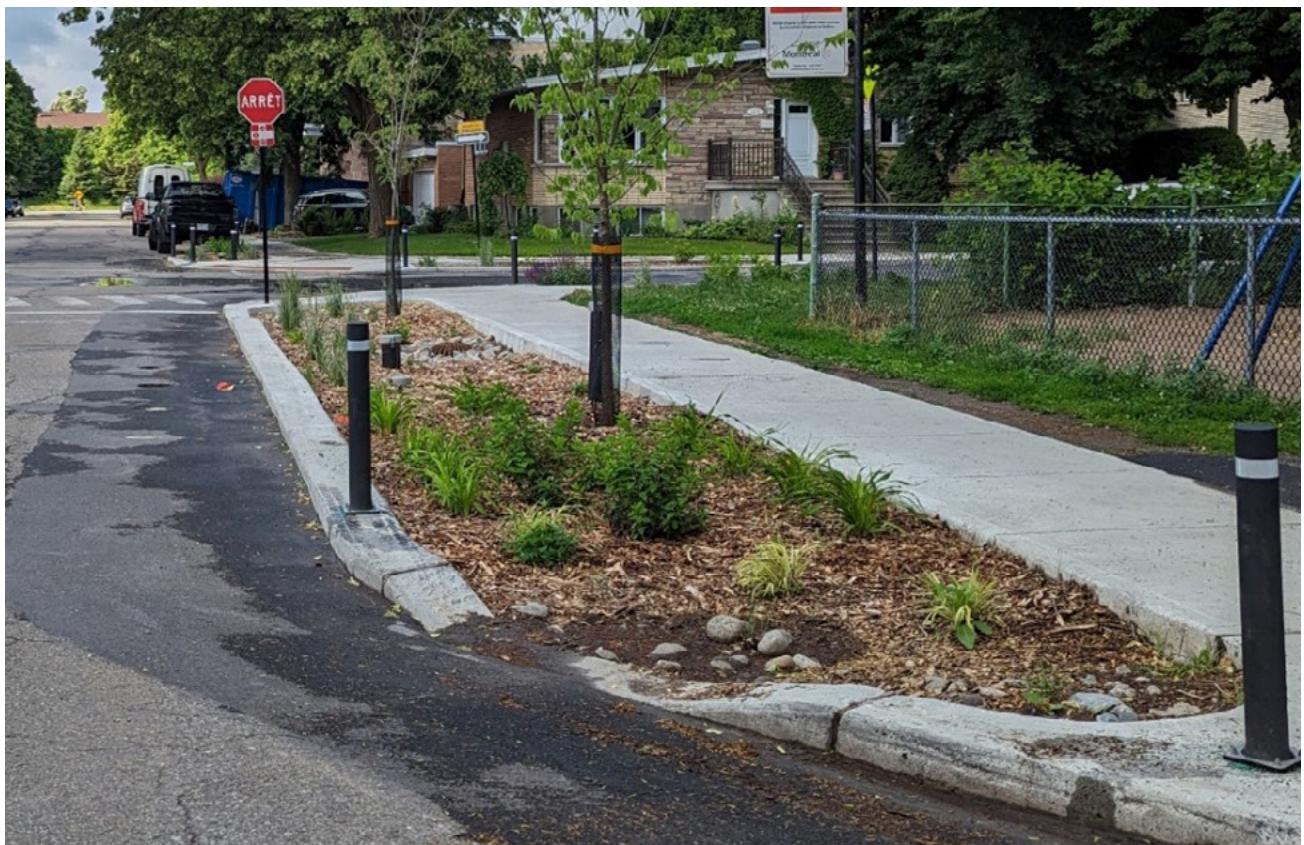


Figure 8: Exemple d'infrastructure verte drainante en bord de rue.

Dans le contexte de la gestion durable des eaux pluviales, il peut être avantageux de maximiser l'infiltration d'eau par le revêtement au lieu de la réduire. En milieu urbain, en l'absence de fossés ou d'infrastructures vertes, la réduction de la composante I_s entraîne une augmentation du ruissellement et de la quantité d'eau acheminée au réseau d'égout. L'utilisation d'un revêtement perméable permet de réduire le ruissellement en augmentant I_s . Les stationnements sont un exemple de surfaces où des revêtements perméables peuvent être utilisés (Duchesne et Vaillancourt 2017). Ils représentent une source de ruissellement importante, mais ils sont soumis à un trafic relativement léger à basse vitesse. Les revêtements perméables peuvent prendre la forme de pavages de béton, d'enrobés bitumineux poreux ou de béton poreux. La conception des chaussées perméables est décrite dans plusieurs guides (p. ex. Eisenberg et al. 2015).

Le temps nécessaire pour évacuer l'eau qui pénètre dans la structure de chaussée d'eau dépend de la perméabilité des matériaux granulaires (MG). La *figure 9* présente le fuseau granulométrique du MG 20 (Norme BNQ 2560-114, Bureau de normalisation du Québec 2014) et des exemples de courbes granulométriques du MG 112 (Paquet 1994). Le MG 20 et le MG 112 sont respectivement utilisés pour la construction de la fondation et de la sous-fondation des chaussées (*figure 1*). Le temps nécessaire pour drainer la structure de chaussée est inversement proportionnel à la perméabilité des matériaux granulaires. Même si le fuseau du MG 20 est relativement étroit, les résultats de Bilodeau (2009) montrent que sa perméabilité peut varier entre 1×10^{-6} m/s et 1×10^5 m/s. Le fuseau du MG 112 est beaucoup plus large. Conséquemment, sa gamme de perméabilité est encore plus étendue. Les résultats de Paquet (1994) et Lebeau et Konrad (2009) montrent que la perméabilité du MG 112 peut varier entre 1×10^{-7} m/s à 1×10^{-3} m/s. Lebeau et Konrad (2009) ont montré que le temps nécessaire pour drainer la structure de chaussée peut varier par plusieurs ordres de grandeur selon la granulométrie du MG 112. Les contrastes entre la capillarité et la perméabilité du MG 20 et du MG 112 peuvent aussi mener à un bris capillaire qui ralentit le drainage si la capillarité du MG 112 est très faible et si sa perméabilité est très grande. Des méthodes de drainage souterrain pour accélérer l'assèchement de la fondation et de la sous-fondation sont présentées au *chapitre 4*. Des méthodes pour tenir compte de la perméabilité et de la capillarité des matériaux granulaires dans la conception du drainage souterraine sont proposées au *chapitre 5*.

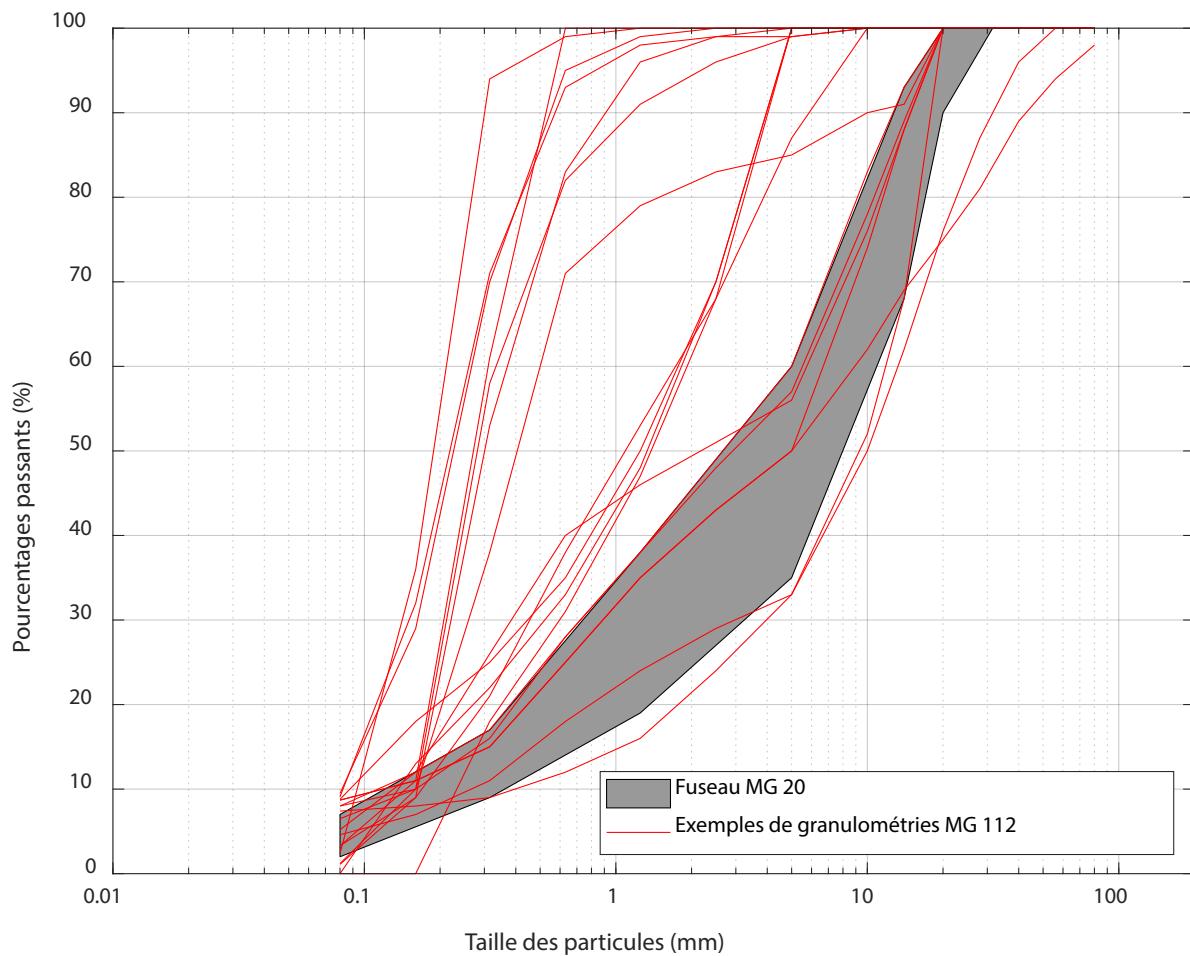


Figure 9: Fuseaux granulométriques du MG 20 et exemples de granulométries du MG 112.

Sources : Paquet 1994; Martineau 1995

4.0 SOLUTIONS AVEC CONCEPTION TYPIQUE

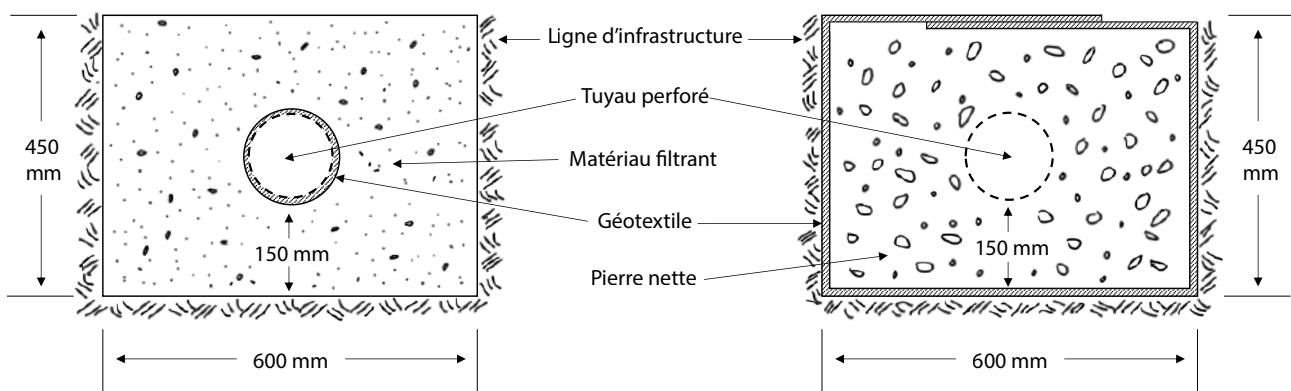
Ce chapitre présente les solutions qui peuvent être utilisées pour accélérer le drainage des chaussées suite aux précipitations et pour réduire les débits vers la structure de chaussée.

4.1 Drainage souterrain

L'analyse du bilan hydrique des chaussées au chapitre précédent a montré que les deux facteurs qui ont le plus d'influence sur la quantité d'eau qui entre dans la structure de chaussée sont le niveau de la nappe phréatique et la perméabilité du sol d'infrastructure. En l'absence de fossé, dans le cas d'une nappe phréatique élevée ou d'un sol d'infrastructure avec une faible perméabilité, l'évacuation de l'eau qui pénètre la structure de chaussée nécessite un drainage souterrain. L'utilisation de drainage souterrain n'est pas nécessaire pour les chaussées construites sur un sol d'infrastructure perméable avec une nappe phréatique qui demeure sous la ligne d'infrastructure toute l'année.

Cette section présente différentes méthodes qui permettent d'assurer un drainage souterrain de la chaussée. Le choix de la méthode dépend du type de construction (p. ex. nouvelle chaussée, reconstruction partielle d'une chaussée existante), du sol d'infrastructure et de l'espace disponible pour la mise en place du drainage. L'intensité du trafic est aussi un paramètre important. Le bon drainage de la chaussée est plus important pour les chaussées qui doivent supporter des charges lourdes (camions et autobus) et moins important pour un stationnement surtout utilisé par des véhicules légers ou une rue secondaire.

Le tuyau de drainage à l'infrastructure (TDI) est la principale méthode de drainage souterrain. Le TDI est un tuyau perforé placé dans une tranchée. La *figure 10* présente deux exemples de coupes types provenant du *chapitre 3* du tome II de la collection de normes du ministère des Transports et de la Mobilité durable (2024). Le TDI doit être conçu pour empêcher l'érosion interne et le colmatage du drain. La tranchée peut être remblayée avec un filtre granulaire quand l'infrastructure qui entoure le drain est suffisamment homogène pour choisir un matériau filtrant (*figure 10a*). Dans le cas d'une infrastructure hétérogène ou de sols fins stratifiés, la tranchée peut être remblayée avec une pierre nette de calibre 5-40 mm ou 5-20 mm entourée d'un géotextile (*figure 10b*). Le type de tuyau de drainage, notamment sa rigidité, doit être choisi en fonction de la position du TDI par rapport aux voies de circulation. Le diamètre du tuyau de drainage varie entre 150 mm et 200 mm. Le drain peut être placé sous le trottoir (p. ex. DNI-3A-805 de Ville de Montréal 2022) ou sous la rive de la chaussée (p. ex. *figure 5*). Le TDI doit être raccordé à un exutoire pour évacuer l'eau (p. ex. fossé ou un puisard). Le drain doit avoir une pente minimale de 0,2 %.



a) Avec matériau granulaire filtrant.

b) Pierre nette

Figure 10: Tuyau de drainage à l'infrastructure (TDI).

Source : ministère des Transports et de la Mobilité durable 2024

L'écran de rive est une autre autre méthode qui permet d'assurer le drainage souterrain. L'écran de rive est constitué d'un tuyau perforé de 100 mm de diamètre inséré dans un géotextile installé verticalement (*figure 11*). Les écrans de rive nécessitent moins d'espace que les TDI. Ils peuvent être installés dans des chaussées où la présence de nombreux services publics ne permet pas l'installation de TDI. Ils peuvent aussi être installés pendant la construction de la chaussée quand des venues d'eau latérales importantes sont observées. Les écrans de rive peuvent aussi être utilisés pour capter l'influx d'eau latéral et filtrer les particules fines dans les sols d'infrastructures peu perméables, à proximité de parcs, de pente gazonnée ou dans des quartiers résidentiels avec une infiltration d'eau plus importante. La *figure 12* présente une coupe-type de l'installation d'un écran de rive. Les écrans de rive ne doivent pas atteindre la surface afin d'éviter de capter les eaux de ruissellement. La tranchée du tuyau de drainage peut être remblayée avec le matériau de la fondation de la chaussée (p. ex. MG 20).

Pour les sols d'infrastructure fins, l'écran de rive ou le TDI peut être combiné avec une couche drainante à l'infrastructure (CDI). La CDI a plusieurs fonctions. Elle permet de drainer l'eau de la structure de chaussée plus rapidement vers un TDI ou un écran de rive, surtout quand la sous-fondation de MG 112 a une faible perméabilité. Elle peut aussi prévenir la contamination des matériaux de la chaussée par les particules fines du sol d'infrastructure (St-Laurent 2004). Finalement, elle agit comme bris capillaire pour empêcher l'eau de remonter dans la structure de chaussée par capillarité. La couche drainante à l'infrastructure peut être constituée d'un géosynthétique – p. ex. géocomposite multicouche, géocomposite avec mini-drain – (*figure 13*) ou d'un matériau granulaire avec une courbe granulométrique qui permet de filtrer et drainer le sol d'infrastructure. Les CDI devraient être utilisées quand les matériaux granulaires de la chaussée en contact avec le sol d'infrastructure ne respectent pas les critères de filtre présentés au *chapitre 5*.



Figure 11 : Exemples d'écran de rive lors d'une installation près d'une pente gazonnée.

Source : Hugo Bélanger, Ville de Montréal.

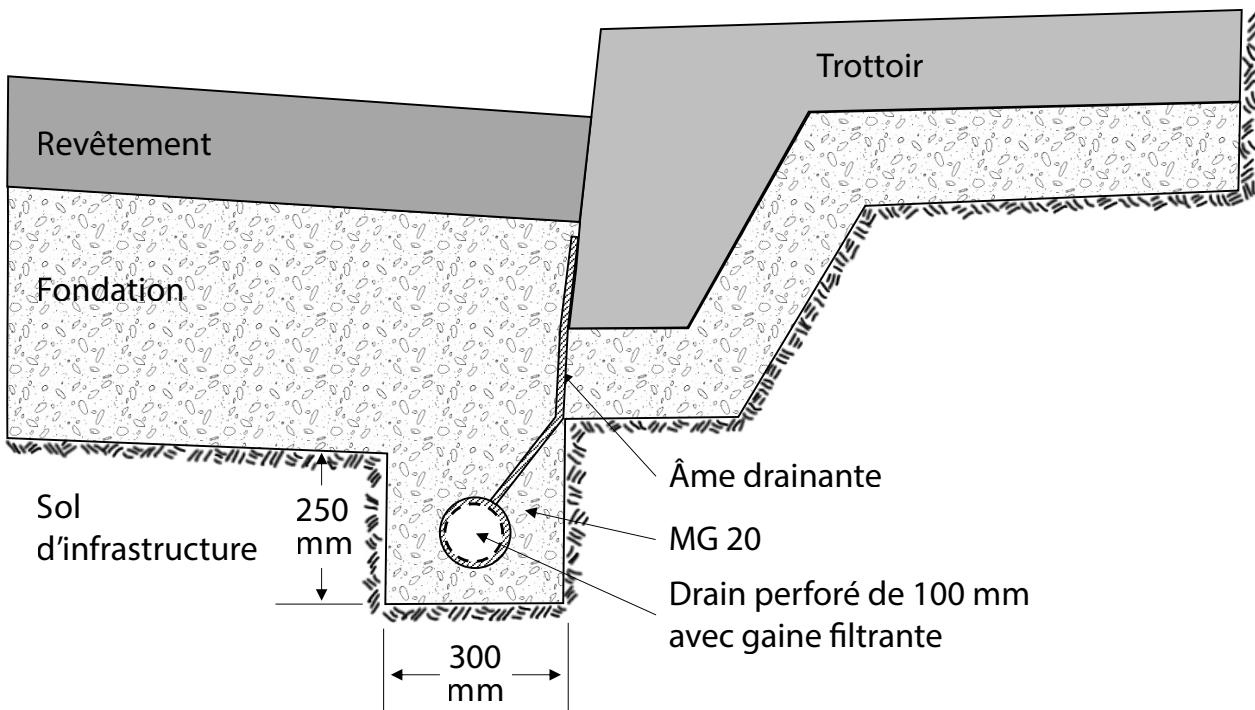


Figure 12 : Coupe-type montrant l'installation d'un écran de rive.

Source : Figure adaptée de la Ville de Montréal 2024.



Figure 13: Exemple de géocomposite avec mini-drain qui peut être utilisé comme CDI.

Source : Silda Rivas, Alkegen

L'aménagement de pentes latérales vers le système de drainage pour les interfaces entre les couches de la structure chaussée facilite le drainage souterrain. Selon MTMD (2024a), l'interface entre la fondation et la sous-fondation devrait avoir une pente de 2 % vers l'élément de drainage. L'interface entre la sous-fondation et le sol d'infrastructure devrait avoir une pente de 3 % vers l'extérieur. Les travaux de préparation de l'infrastructure ne doivent pas laisser d'ornières ou autres dépressions pouvant retenir l'eau et affaiblir localement l'infrastructure.

Certaines municipalités peuvent utiliser des solutions différentes ou des coupe-types particulières en raison d'un contexte géologique différent, de l'expérience locale ou d'un réseau routier avec des caractéristiques particulières. C'est le cas par exemple à Montréal, où le drainage souterrain de la structure de chaussée est souvent assuré par de la pierre nette sous le trottoir en raison de la faible épaisseur des chaussées mixtes construites au milieu du 20^e siècle. L'utilisation de la pierre nette pour le drainage nécessite la présence d'ouvertures avec un grillage au niveau de la pierre nette dans les puisards pour drainer l'eau de la structure de chaussée. Dans certains cas, les méthodes présentées au *chapitre 5* peuvent être utilisées pour adapter les solutions courantes à des contextes particuliers (p. ex. débit élevé, problèmes d'érosion interne).

Il faut prévoir un accès aux drains pour le nettoyage et l'inspection. L'inspection permet d'identifier plusieurs types de problèmes, notamment le colmatage des drains par les sédiments, les problèmes d'installation et les affaissements de conduites. Seulement le tiers des 287 drains latéraux inspectés par Daleiden (1995) à travers les États-Unis étaient fonctionnels. L'inspection et le nettoyage des systèmes de drainage souterrain des chaussées ne sont malheureusement pas des pratiques courantes au Québec.

L'inspection des drains permet aussi d'observer le colmatage des drains par l'ocre ferreuse. Celle-ci est surtout associée aux dépôts de sable et de sols organiques avec une concentration élevée de fer dans l'eau souterraine. Différentes approches permettent de diminuer l'impact de la formation d'ocre ferreuse, notamment l'utilisation de pentes plus importantes et de conduites lisses avec un plus grand diamètre (Chabot 2022).

4.2 Imperméabilisation du revêtement et drainage de surface

L'infiltration d'eau à travers les fissures du revêtement (I_s à la figure 5) est une composante importante du bilan hydrique des chaussées. Pour les rues où le trafic est important, le scellement des fissures est une méthode d'entretien préventif efficace pour réduire la quantité d'eau dans la chaussée.

Le scellement des fissures a fait l'objet de projets de recherche au Ministère des Transports du Québec à la fin des années 1990. Les résultats de ces projets de recherche ont été présentés par Pouliot et al. (2004).

Le scellement devrait être effectué pour les revêtements de moins de 6 ans avec une fissuration limitée. Le taux de fissuration total devrait être inférieur à 2000 m/km (figure 14). Pour ne pas rendre la surface de la chaussée glissante et non sécuritaire pour les automobilistes, le taux de fissuration longitudinale dans les pistes de roues devrait être inférieur à 1000 m/km, soit 25 % de la longueur totale des pistes de roues pour deux voies de circulation (4 pistes de roues ou 4000 m/km). Les secteurs présentant des dégradations causées notamment par une faible portance et par des problèmes de drainage, sont à éviter. L'ouverture des fissures devrait être entre 3 et 20 mm.

Le scellement devrait être effectué peu de temps après l'apparition des fissures sur la chaussée. Selon les régions, la période comprise entre la mi-mai et la mi-octobre est propice au scellement des fissures. Le scellement n'est pas recommandé avant la mi-mai à cause du taux d'humidité élevé dans les fissures. La mise en place du produit de scellement doit être précédée d'un nettoyage de la fissure avec de l'air comprimé et une lance thermopneumatique.

La durée de vie du produit de scellement varie en fonction du trafic. Elle est généralement inférieure à 8 ans, même dans les meilleures conditions.



Figure 14: Exemple de taux de fissuration de 2 220 m/km.

Source : Pouliot et al. 2004

L'évacuation rapide de l'eau à la surface du revêtement permet aussi de réduire la quantité d'eau qui s'infiltra dans la chaussée. Le caniveau (pente longitudinale) et la couronne (pente transversale) devraient avoir une pente d'au moins 0,5 % et 3 %, respectivement. Le système de collecte d'eau de ruissellement doit aussi être conçu pour évacuer l'eau rapidement.

4.3 Interface chaussée – infrastructure verte

Il est possible que les infrastructures vertes (*figure 8*) entraînent un écoulement souterrain vers la structure de chaussées, surtout dans le cas des infrastructures vertes qui ne sont pas munies d'un drain souterrain (p. ex. Dugué 2024). On dispose présentement de très peu d'informations sur l'influence des infrastructures vertes sur les conditions d'eau souterraine. Des projets de recherche en cours devraient permettre de mieux comprendre la nature des écoulements souterrains associés à la présence d'infrastructures vertes en bordure de chaussée et leur influence sur la teneur en eau dans la chaussée (p. ex. Masse-Dufresne et Farley 2024).

À Montréal, des géosynthétiques sont utilisés pour séparer les infrastructures vertes et la structure de chaussée et pour empêcher l'eau qui s'infiltra dans les infrastructures vertes d'atteindre la structure de chaussée (*figure 15*). Un géocomposite formé d'un géotextile non tissé et d'une géomembrane en PVC est installé verticalement entre les infrastructures vertes et la structure de chaussée (Dugué 2024; Ville de Montréal 2022). Les spécifications du géocomposite sont identiques à celles des produits qui sont installés autour des regards et des puisards pour drainer l'eau et empêcher le soulèvement dû au gel. L'efficacité de ce type de mesure est incertaine.

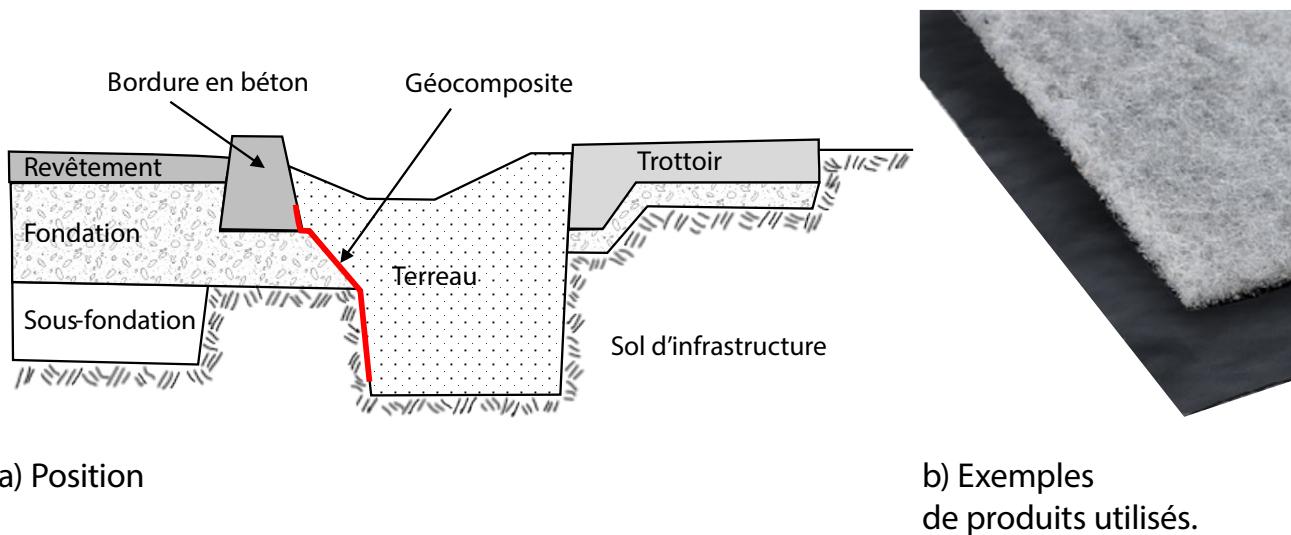


Figure 15 : Géocomposites installés pour séparer la structure de chaussée et l'infrastructure verte.

Source : b) : Soleno 2024

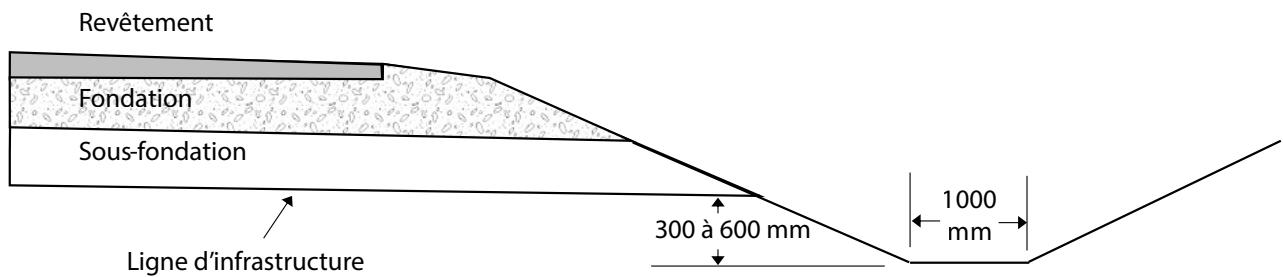
4.4 Fossés

Lorsque l'espace le permet, des fossés peuvent être utilisés pour drainer la structure de chaussée. L'impact des fossés sur les écoulements dans les structures de chaussée a été étudié numériquement par Lafleur (2013). Le tome II et la norme 3101 du MTMD décrivent respectivement la géométrie des fossés et leur entretien (MTMD 2024a; Ministère des Transports du Québec 2022).

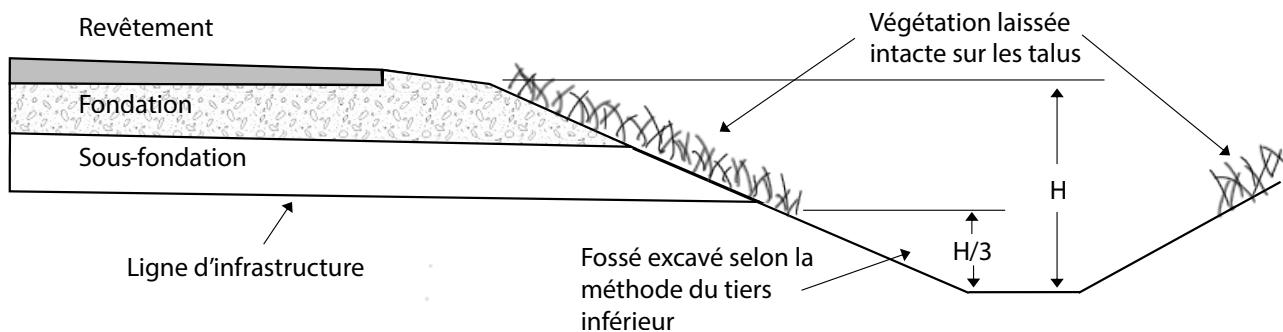
La *figure 16a* présente les éléments importants de la géométrie des fossés. Les fossés doivent être creusés entre 300 à 600 mm sous la ligne d'infrastructure. Le fond du fossé doit avoir une largeur de 1 m.

L'entretien des fossés devrait être fait lorsque l'accumulation de sédiments au fond du fossé dépasse 150 mm ou lorsque le fond est à moins de 150 mm de la ligne d'infrastructure. Ces critères nécessitent d'inspecter périodiquement les fossés et de relever le niveau de sédiments. Dépendamment de la fréquence des travaux, il est aussi possible de coordonner le nettoyage des fossés avec des travaux de resurfaçage périodiques.

La méthode du tiers inférieur est suggérée pour l'entretien des fossés. Cette méthode est présentée en détail dans un guide préparé par le ministère des Transports du Québec (2011) en collaboration avec le CERIU. Selon cette méthode, seul le tiers inférieur du fossé est creusé durant l'entretien (*figure 16b*). Le creusage peut être précédé d'un débroussaillage qui facilite la réalisation des travaux. Le godet de la pelle mécanique ou de la rétrocaveuse doit être suffisamment petit pour creuser seulement le tiers inférieur et pour que l'opérateur ait une bonne vision des travaux. La méthode du tiers inférieur réduit l'érosion dans les fossés et facilite le rétablissement de la végétation. Elle réduit aussi les coûts d'entretien en réduisant la quantité de sédiments à excaver, à transporter et à éliminer. La *figure 17* présente un exemple d'entretien de fossé selon la méthode du tiers inférieur.



a) Géométrie des fossés



b) Entretien avec la méthode du tiers inférieur

Figure 16: Fossés.

Source : Figure adaptée du ministère des Transports du Québec 2011



Figure 17: Exemple d'entretien de fossé avec la méthode du tiers inférieur.

Source : ministère des Transports du Québec 2011

5.0 SOLUTIONS PARTICULIÈRES

Les paramètres des solutions présentées au chapitre précédent (p. ex. diamètre des conduites, pentes, matériaux utilisés) s'appliquent aux situations typiques. Pour les chaussées où des problèmes récurrents de drainage sont observés et lorsque les solutions du chapitre précédent ne peuvent pas être utilisées, par exemple en raison de contraintes d'espace ou de contraintes reliées à la disponibilité des matériaux, des solutions spécifiques peuvent être développées pour assurer le drainage souterrain. Lors de la planification des projets de moyenne ou grande envergure, AASHTO (2007) recommande fortement l'implication de spécialistes en hydraulique souterraine et en hydrologie pour s'assurer d'une conception efficace du réseau de drainage tant du point de vue hydraulique qu'économique. Les sections suivantes présentent des outils et des références pour modéliser les écoulements dans la structure de chaussées, dimensionner les drains et vérifier les critères de filtre pour prévenir l'érosion interne.

5.1 Modélisation des écoulements dans la structure de chaussées.

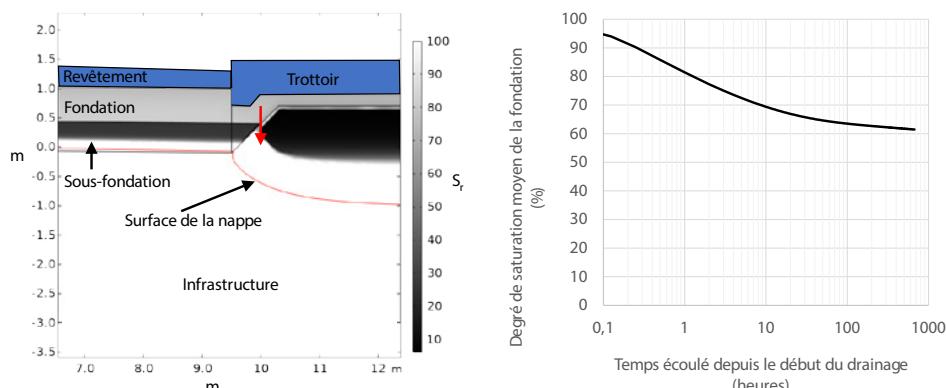
Avec la méthode empirique de conception des chaussées généralement utilisée au Québec, l'influence de l'efficacité du drainage souterrain sur les performances d'une chaussée passe par le coefficient de drainage m (AASHTO 1993; St-Laurent 2006). Ce coefficient est utilisé pour calculer le nombre structural (SN) qui permet de calculer la durée de vie d'une chaussée. Plus la valeur de m est élevée, plus la durée de vie de la chaussée augmente. Le guide d'utilisation du logiciel Chaussée 2 propose une valeur par défaut de 0,8 (St-Laurent 2006). Dans la documentation d'AASHTO (1993), la valeur de ce coefficient est reliée au temps nécessaire pour drainer l'eau dans la structure de chaussée après une période de saturation et à la proportion de l'année durant laquelle la structure de chaussée est saturée. Le tableau 1 présente l'influence de ces deux facteurs sur la valeur du coefficient m .

Tableau 1 : Détermination du coefficient m selon AASHTO (1993).

Temps nécessaire pour drainer 50 % de l'eau dans la structure de chaussée (t_{50})	Portion de l'année durant laquelle la chaussée est saturée			
	Moins de 1 %	Entre 1 et 5 %	Entre 5 et 25 %	Plus de 25 %
Moins de 2 heures	1,35-1,40	1,30-1,35	1,20-1,30	1,20
Entre 2 heures et 1 jour	1,25-1,35	1,15-1,25	1,00-1,15	1,00
Entre 1 et 7 jours	1,15-1,25	1,05-1,15	0,80-1,00	0,80
Entre 7 et 30 jours	1,05-1,15	0,80-1,05	0,60-0,80	0,60
Plus de 30 jours	0,95-1,05	0,75-0,95	0,40-0,75	0,40

L'influence du coefficient m sur la durée de vie des chaussées n'est pas linéaire. Par exemple, avec la valeur par défaut de Chaussée 2 ($m = 0,8$), une couche d'enrobée de 150 mm sur une fondation de MG 20 de 300 mm produit une durée de vie de $4,6 \times 10^6$ passages d'essieux. Avec la valeur minimale du tableau 1 ($m=0,4$), pour la même structure de chaussée, la durée de vie passe à $1,1 \times 10^6$ passages d'essieux, soit une diminution de 76 %.

AASHTO (1993) ne fournit pas de méthode détaillée pour déterminer le temps nécessaire pour atteindre un degré de saturation de 50 % (t_{50}) et la proportion de l'année durant laquelle la chaussée est saturée. Le degré de saturation est la proportion du volume de pores occupée par de l'eau. Quelques méthodes plus détaillées ont été proposées dans la littérature (p. ex. Richardson 2001), mais la détermination du paramètre m demeure assez arbitraire malgré son influence sur le calcul de durée de vie.



a) Profil du degré de saturation

Figure 18: Exemples du degré de saturation³.

b) Degré de saturation en fonction du temps écoulé depuis le début du drainage

³ Le trottoir et le revêtement sont présentés dans le schéma, mais ne sont pas inclus dans le modèle numérique.

Plusieurs auteurs ont proposé des modèles numériques pour décrire l'impact des propriétés des matériaux de la chaussée (p. ex. perméabilité et capillarité) et du drainage souterrain sur les écoulements dans les structures de chaussées (p. ex. Lebeau et Konrad 2009; Lafleur 2013; Cyr et Chiasson 1999). Bien que ces références ne fournissent pas de méthode explicite pour déterminer le coefficient m , des modèles semblables peuvent être utilisés pour comparer l'influence de différentes configurations sur le t_{50} . La *figure 18* présente des exemples de résultats qui peuvent être obtenus avec ce type de modèle numérique. La *figure 18a* présente un profil du degré de saturation pour une section de chaussée après une période de drainage de 3 heures. Les propriétés des matériaux utilisés proviennent de Lebeau et Konrad (2009). Cet exemple correspond à une sous-fondation relativement grossière et perméable. On remarque que la sous-fondation se désature rapidement. Le degré de saturation moyen de la fondation demeure largement supérieur à 50 % après 3 heures, entre autres en raison du bris capillaire qui empêche l'eau de se drainer par la sous-fondation. L'eau se draine plutôt par l'interface entre la fondation et le sol d'infrastructure sous le trottoir (flèche rouge). La *figure 18b* montre le degré de saturation moyen dans la fondation pour la même simulation. Après 1 mois, le degré de saturation n'a pas encore atteint 50 %. Les résultats de la *figure 18* ont été obtenus avec le logiciel d'éléments finis COMSOL, mais ce type de simulation pourrait être réalisé avec n'importe quel autre outil numérique permettant de simuler les écoulements d'eau souterraine (p. ex. SEEP/W ou RS2).

5.2 Choix des filtres

Les matériaux granulaires de la chaussée peuvent être contaminés par des particules fines en raison d'érosion interne ou en raison de l'interpénétration des granulats dans un sol d'infrastructure fin suite à l'application répétée des charges de roues (St-Laurent 2004). L'érosion interne se produit lorsque deux matériaux sont mis en contact en présence d'un écoulement d'eau souterrain qui va du matériau fin vers le matériau grossier. Cette situation est présentée schématiquement à la *figure 19a*. Elle peut se produire notamment près des drains (p. ex. *figure 10*). La *figure 19b* présente un exemple de matériau granulaire contaminé par des particules fines.



a) Représentation schématique

b) Exemple dans le contexte des chaussées

c) Exemple d'installation de géosynthétiques de séparation pour empêcher la contamination par les particules fines

Figure 19 : Érosion interne.

Sources : b) : Christopher et al 2006 et c) : Texel 2024

Différents critères de filtres permettent de vérifier si l'interface entre deux matériaux est susceptible à la contamination (voir MTMD 2024b, chapitre 2). La Manuel canadien d'ingénierie des fondations (CGS 2023) propose d'utiliser les critères de Lafleur (1999). Ceux-ci s'appliquent aux filtres granulaires et aux filtres géosynthétiques (p. ex. figure19c). L'application de ces critères repose sur la comparaison de l'ouverture de filtration du filtre (O_f) et de la taille des particules à filtrer (d_i). Pour les filtres granulaires, O_f correspond à la taille des pores. La relation $O_f \leq d_i$ doit être vérifiée. Pour les matériaux granulaires, la taille des pores O_f dépend du D_{15} , soit la taille des particules qui correspond à un pourcentage passant massique de 15 % sur la courbe granulométrique cumulative du filtre.

$$(1) \quad O_f = \frac{D_{15}}{4}$$

Pour les filtres géosynthétiques, O_f est définie à partir d'essais standards, notamment l'essai présenté dans la norme ASTM (D4751). Cet essai détermine une taille apparente des ouvertures (AOS) à partir du tamisage à sec de billes de verre.

$$(2) \quad O_f = AOS$$

La taille de particules d_i dépend de la courbe granulométrique du sol fin qui doit être filtré, notamment de son coefficient d'uniformité ($C_u = d_{60}/d_{10}$, où d_x est la taille qui correspond à un pourcentage passant de $x\%$ pour le matériau à filtrer). Pour les sols avec une granulométrie uniforme ($C_u \leq 6$), $d_i = d_{85}$. La détermination de d_i pour les sols avec une granulométrie plus étalée ou discontinue est plus complexe. Pour $C_u > 6$, Lafleur (1999) recommande d'utiliser $d_i = d_{30}$. D'autres critères pour les granulométries étalées ont été proposés par Sherard et Dunnigan (1989).

La filtration des sols très fins demande aussi une attention particulière. St-Laurent (2004) recommande de limiter O_f à 0,150 mm pour les sols fins avec un $d_{50} \leq 0,060$ mm. Pour les sols silteux avec une faible plasticité ($d_{50} \leq 0,060$ mm et $I_p < 5$, où I_p est l'indice de plasticité), la valeur du paramètre O_f devrait être limitée à 0,060 mm.

Les matériaux dont la granulométrie est étalée peuvent être affectés par une forme d'érosion interne appelée suffosion. Celle-ci se produit lorsque qu'un matériau granulaire n'est pas en mesure de s'autofiltrer et de retenir ses propres particules fines. Dans le contexte des chaussées, il a été démontré que certaines courbes granulométriques respectant les fuseaux du MG 20 et du MG 112 sont susceptibles à la suffosion (Lafleur et Savard 2004; Chapuis et al. 1996). À long terme, les écoulements dans une structure de chaussée susceptible à la suffosion peuvent diminuer la perméabilité près des drains par l'accumulation de particules fines.

5.3 Dimensionnement des drains

Les modèles numériques des écoulements souterrains peuvent être utilisés pour calculer le débit qui doit être transporté par les drains. Ces débits peuvent être comparés à la capacité des drains.

Le diamètre et la pente des drains ont une influence sur leur capacité. Des valeurs typiques de diamètres et de la pente minimale ont été fournies au *chapitre 4*. L'influence de la pente, du diamètre et du type de drains peut être vérifiée avec l'équation de Manning (p. ex. MTMD 2024c; Rivard 2011).

$$(3) \quad q = \frac{3,12 \times 10^{-3} D^{\frac{8}{3}} s^{\frac{1}{2}}}{Ln}$$

Où q est le débit unitaire capté par le système de drainage en L/s par mètre de drain, s est la pente du drain en m/m, D est le diamètre du drain en m, L est la longueur du drain en m et n est le coefficient de Manning du drain. Le débit unitaire correspond à un débit par mètre de chaussée comme celui qui est calculé avec le modèle numérique de la section précédente. La valeur de n est de l'ordre de 0.018 pour un tuyau perforé en plastique ondulé. D'autres valeurs sont fournies par MTMD (2024c) et Rivard (2011). L'équation de Manning montre par exemple que les débits qui peuvent être drainés par des tuyaux de 100 mm et 200 mm sont séparés par un facteur 6.

Les perforations des drains peuvent avoir différentes tailles. Si le tuyau perforé est directement en contact avec un matériau granulaire, la taille des ouvertures doit être inférieure au D_{85} des particules du matériau granulaire.

L'intérieur des drains est généralement ondulé, mais des drains lisses sont aussi disponibles. Ces derniers peuvent par exemple être utilisés pour les drains qui sont affectés par la formation d'ocre ferreuse (Chabot 2022).

6.0 CONCLUSION

Le *chapitre 2* a rappelé que la présence d'eau dans les chaussées peut entraîner leur dégradation. L'eau diminue la capacité portante de la chaussée, exacerbe les problèmes de soulèvement dû au gel et peut entraîner l'érosion des sols fins et la contamination des matériaux granulaires de la chaussée. Les analyses présentées par Christopher et al. (2006), Edmond (2025) et Forsyth et al. (1988) montrent que ces problèmes peuvent mener à une augmentation du coût de la chaussée de 20 à 40% si on augmente la capacité portante pour contrebalancer l'effet de l'eau, ou une diminution de la d'une durée de vie de la chaussée de près de 90% si on ne tient pas compte du mauvais drainage lors de la conception.

En l'absence de fossés, lorsque le sol d'infrastructure est peu perméable ou lorsque la nappe est près de la surface, un drainage souterrain doit être prévu pour évacuer l'eau qui s'infiltra dans la structure de chaussée. Le drainage souterrain peut prendre différentes formes (p. ex. tuyau de drainage à l'infrastructure, écran de rive, couche de drainage à l'infrastructure).

La gestion durable des eaux de ruissellement devrait entraîner des changements dans le bilan hydrique des chaussées en milieu urbain au cours des prochaines années. L'impact des infrastructures vertes drainantes en bordure de rue sur les conditions d'eau souterraine est mal connu. Les mesures de séparation utilisées pour empêcher l'eau de s'écouler des infrastructures vertes drainantes vers la structure de chaussées sont essentiellement arbitraires. La conception des chaussées en milieu urbain pourrait bénéficier d'une meilleure connaissance des composantes du bilan hydrique des chaussées, notamment par le biais de mesures réalisées sur le terrain (p. ex. teneur en eau).

L'approche actuelle pour la conception des chaussées avec le logiciel Chaussée 2 est basée sur l'utilisation d'une valeur constante du coefficient de drainage $m = 0,8$. Cette pratique ne permet pas de prendre en compte l'efficacité du drainage souterrain dans la conception des chaussées. Le *chapitre 5* a présenté certains outils qui peuvent être utilisés pour raffiner la conception du drainage souterrain et pour modéliser son efficacité. Il est par contre peu probable et peu souhaitable que des simulations par éléments finis soient systématiquement utilisées dans la conception du drainage souterrain des chaussées. Par contre, les outils du *chapitre 5* pourraient être utilisés pour développer des sections types pour différentes situations de drainage (p. ex. niveau de la nappe, type de sols d'infrastructures, position de la courbe granulométrique du MG112 par rapport aux limites du fuseau, présence d'infrastructures vertes drainantes en bordure de chaussée). Les indices d'un drainage déficient qui ont été présentés au *chapitre 2* (p. ex. *figure 4*) peuvent aussi être utilisés pour identifier les sections de chaussée avec des problèmes récurrents de drainage. Celles-ci pourraient ensuite faire l'objet d'une analyse plus approfondie avec les outils du *chapitre 5*.

7.0 RÉFÉRENCES

- AASHTO (2007). *Highway Drainage Guidelines, 4th edition.* American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- AASHTO (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.* American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- ASTM International. (2015). *Standard Test Method for Field Measurement of Infiltration Rate Using Double-Ring Infiltrometer with Sealed-Inner Ring.* Norme ASTM D5093. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2020). *Standard Test Method for Field Measurement of Hydraulic Conductivity Using Borehole Infiltration.* Norme ASTM D6391. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2021). *Standard Test Methods for Determining Apparent Opening Size of a Geotextile.* Norme ASTM D4751. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2021). *Standard Test Method for Surface Infiltration Rate of Permeable Unit Pavement Systems.* Norme ASTM C1781. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Bilodeau, J.-P. (2009). *Optimisation de la granulométrie des matériaux granulaires de fondation des chaussées.* Thèse de doctorat, Université Laval.
- Bureau de normalisation du Québec. (2014). *Sols – Détermination du coefficient de perméabilité au bout d'un tubage de forage.* Norme CAN/BNQ 2501-130. Bureau de normalisation du Québec, Québec, QC.
- Bureau de normalisation du Québec. (2014). *Travaux de génie civil - Granulats.* Norme BNQ 2560-114. Bureau de normalisation du Québec, Québec, QC.
- Canadian Geotechnical Society. (2023). *Canadian Foundation Engineering Manual, 5th Edition.* Canadian Geotechnical Society, Richmond, BC.
- Carrier J., Chartrand L., Durand J.M., Flon P., Grondin M., Martel N. (2007). *Guide de mesure et d'identification des dégradations des chaussées souples.* Ministère des Transports du Québec, Québec.
- CERIU. (2004). *Remblayage des tranchées, sommaire des pratiques courantes au Québec et recommandations.* CERIU, Montréal, QC.
- CERIU. (2013). *Drainage souterrain des chaussées urbaines.* CERIU, Montréal, QC.
- Chabot, R. (2022). *Diagnostic et drainage souterrain des terres agricoles.* Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Québec.
- Chapuis, R. P. (2004). Predicting the saturated hydraulic conductivity of sand and gravel using effective diameter and void ratio. *Canadian Geotechnical Journal*, 41(5), 787–795.
- Chapuis, R. P., Aubertin, M. (2003). On the use of the Kozeny-Carman equation to predict the hydraulic conductivity of soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 40(3), 616–628.
- Chapuis, R. P., Contant, A., Baass, K. A. (1996). Migration of fines in 0-20 mm crushed base during placement compaction and seepage under-laboratory conditions. *Canadian Geotechnical Journal*, 33, 168–176.

- Christopher, B.R., Schwartz, C., Boudreau, R. (2006). *Geotechnical Aspects of Pavements*. Publication FHWA NHI-05-037. Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Cyr, R. Y., & Chiasson, P. (1999). Modeling subsoil drainage systems for urban roadways. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 26(6), 799–809.
- Daleiden, J.F. (1998). *Video Inspection of Highway Edgedrain Systems*, rapport FHWA-SA-98-044. Federal Highway Administration, McLean, VA.
- Dawson A., Kringos N., Scarpas T., Pavsic, P. (2009). Water in the Pavement Surfacing. Tiré de *Water in Road Structures* (A. Dawson, Ed.). Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Doucet, F., Doré, G. (2004). Module réversible et coefficient de Poisson réversible des matériaux granulaires C-LTPP. Tiré de la 57^e Conférence annuelle de la Société canadienne de géotechnique.
- Duchesne, S., Vaillancourt, C. (2017). Le pavage perméable : un outil de gestion du risque hydrologique et de la qualité de l'eau en milieu urbain. Présenté à *Infra 2017*.
- Dugué, M. (2022). *Guide de conception GCI-3A – Infrastructures vertes sur rue avec infiltration complète*. Ville de Montréal.
- Edmond, F. (2025). *Estimation du coût associé au mauvais drainage souterrain des chaussées*. Rapport de projet de maîtrise, École de technologie supérieure.
- Eisenberg, B., Collins Lindow, K., Smith, D. R. (2015). *Permeable Pavements*. ASCE, Reston, VA.
- Forsyth, R. A., Wells, G. K., Woodstrom, J. H. (1988). Economic Impact of Pavement Subsurface Drainage. *Transportation Research Record*, 1121, 77-84.
- Hydro-Québec. (2007). Manuel de l'inspecteur en exploration géotechnique. Hydro-Québec, Montréal.
- Lafleur J. (1999). Selection of geotextiles to filter broadly graded cohesionless soils. *Geotextiles and Geomembranes*, 17(5–6), 299–312.
- Lafleur J. (2013). *Critères d'application des couches drainantes dans les chaussées : limites d'applications*, rapport RTQ-13-01. Ministère des Transports du Québec, Québec.
- Lafleur, J., Savard, Y. (2004). Internal Stability of road aggregates submitted to water flow. Tiré de la 57^e Conférence annuelle de la Société canadienne de géotechnique.
- Lebeau, M., Konrad, J.-M. (2009). Pavement subsurface drainage : Importance of appropriate subbase materials. *Revue canadienne de géotechnique*, 46(8) : 987-1000.
- Martel, N. (2001). *Étude du soulèvement au gel des fissures routières en présence de sels de déglaçage*. Mémoire de maîtrise, Université Laval.
- Martineau, B. (1995). Base de données de matériaux granulaire. Ministères des Transports du Québec, Québec.
- Masse-Dufresne, J., Farley, R. (2024). Caractérisation de l'influence des infrastructures vertes drainantes sur l'eau souterraine. Présenté à *Infra 2024*.
- Miller, J. S., Bellinger, Y. (2014). *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program*, rapport FHWA-HRT-13-092. Federal Highway Administration, McLean, VA.
- Ministère des Transports du Québec. (2010). *Guide de planification et de réalisation des études de reconnaissance de sols*. Ministère des Transports du Québec, Québec.
- Ministère des Transports du Québec. (2011). *Méthode du tiers inférieur pour l'entretien des fossé routiers*. Ministère des Transports du Québec, Québec.

- Ministère des Transports du Québec. (2022). Nettoyage et creusage des fossés latéraux et de décharges. Norme 3101. Tome VI - Entretien, Ministère des Transports du Québec, Québec.
- MTMD. (2024a). Tome II – Construction routière. Ministère des Transports et de la Mobilité durable, Québec.
- MTMD. (2024b). Tome VII – Matériaux. Ministère des Transports et de la Mobilité durable, Québec.
- MTMD. (2024c). Manuel de conception des ponceaux. Ministère des Transports et de la Mobilité durable, Québec.
- Omar, H. A., Yusoff, N. I. M., Mubaraki, M., Ceylan, H. (2020). Effects of moisture damage on asphalt mixtures. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 7(5), 600–628.
- Paquet, M. (1994). *Caractéristiques des matériaux en sous-fondation*. Ministères des Transports du Québec, Québec.
- Plante St-Cyr, T., Duhaime, F., Dubé, J.S., Grenier, S. (2025). Dataset of soil images with corresponding particle size distributions for photogranulometry. Tiré de la 78^e Conférence annuelle de la Société canadienne de géotechnique.
- Pouliot, N., Cong, M.D., Flon, P. (2004). *Guide de scellement des fissures*. Ministère des Transports du Québec, Québec.
- Richardson, D. N. (2001). A method for determining AASHTO drainage AASHTO Drainage Coefficients for Flexible Pavements. *Transportation Research Record*, 1778, 73-80.
- Rivard, G. (2011). *Guide de gestion des eaux pluviales : stratégies d'aménagement, principes de conception et pratiques de gestion optimales pour les réseaux de drainage en milieu urbain*. Ministère du développement durable, de l'environnement, de la faune et des parcs du Québec et Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire, Québec.
- Sherard, J. L., Dunnigan, L. P. (1989). Critical Filters for Impervious Soils. *Journal of Geotechnical Engineering*, 115(7), 927–947.
- Soil Moisture (2012). Guelph Permeameter – Operating Instructions, consulté le 21 avril 2025.
- Soleno. (2024). TX-MP, consulté le 2 décembre 2024.
- St-Laurent, D. (2004). *Guide d'utilisation des géosynthétiques de séparation et de renforcement des chaussées*. Direction générale du Laboratoire des chaussées, ministère des Transports du Québec, Québec.
- St-Laurent, D. (2006). *CHAUSSÉE 2 : Logiciel de dimensionnement des chaussée souples – Guide de l'utilisateur*. Direction générale du Laboratoire des chaussées, ministère des Transports du Québec, Québec.
- Texel. (2024). Géotextiles, consulté le 14 janvier 2024.
- Ville de Montréal. (2022). *Travaux de trottoir, bordure, terre-plein central, îlot et muret de soutènement*. Document technique normalisé infrastructures DTNI-3A.
- Ville de Montréal. (2024). *Travaux de chaussée*. Document technique normalisé infrastructures DTNI-3B.



INFRASTRUCTURES
DE SURFACE



INFRASTRUCTURES
SOUTERRAINES



RÉSEAUX
TECHNIQUES URBAINS



GESTION
DES ACTIFS



ACTION
CLIMATIQUE

La reproduction de ce document par quelque procédé que ce soit et sa traduction, même partielles, sont interdites sans l'autorisation du CERIU.

ISBN : 978-2-925413-16-5

Tous droits réservés.

© CERIU, décembre 2025



Centre d'expertise
et de recherche
en infrastructures
urbaines

999, boul. de Maisonneuve Ouest, bur. 1620
Montréal (Québec) H3A 3L4,
Canada
514 848-9885 | ceriu.qc.ca



Pour toute question
et/ou commentaires
ceriu.qc.ca/contact