



PERFORMANCE GEL-DÉGEL

77 hivers · 9 sites · 0 défauts

Bilan signé par un Engineer of Record indépendant

LE BILAN EN CHIFFRES

Performance gel-dégel LL-TEQ™

9 sites de référence en service réel, sous 4 régimes climatiques comparables au Québec

77

Hivers cumulés

sur 9 sites en service réel

6 730

Cycles gel-dégel cumulés

auscultés par l'*Engineer of Record*

0

Défaut gel-dégel observé

sur l'ensemble des 9 sites

3 M+

ESAL cumulés

du local au transport lourd

59 m

Neige cumulée

27 événements météo documentés

4

Régimes climatiques Köppen

Dfa, Dsb, Cfa, Csb — voisins du Dfb québécois

Au Québec, la chaussée bitumineuse conventionnelle vieillit sous deux pressions qui se cumulent : **la fatigue thermique** des cycles gel-dégel répétés autour de 0 °C, et **le soulèvement structural** dû à la formation de lentilles de glace dans les sols argileux gélifs des Basses-Terres du Saint-Laurent.

Sous climat **continental humide Dfb** — environ **75 cycles gel-dégel par année** et plus de **2 mètres de neige** — les fissures de retrait, le faïençage, les nids-de-poule et l'orniérage progressent saison après saison. L'entretien correctif devient le poste de dépense routier dominant.

| La question posée à LL-TEQ

Un système de revêtement qui assure simultanément la couche de roulement et la fonction structurale, formé en place comme un seul bloc, peut-il résister **durablement** aux conditions hivernales québécoises ?

✓ La réponse du dossier

9 sites de référence en service réel aux États-Unis, sous 4 régimes climatiques comparables au Dfb québécois, totalisant 77 hivers cumulés et environ 6 730 cycles gel-dégel : **aucun défaut imputable au cycle gel-dégel** n'a été observé par l'*Engineer of Record* en avril 2026.

Ce document est le **résumé marketing** du dossier technique « *LL-TEQ — Performance gel-dégel* », daté du 19 mai 2026 et préparé par un ingénieur indépendant à la demande de LL-TEQ.

AUTEUR

Mark D. Hardy, P.E.

Engineer of Record, Hardy Engineering, Santa Monica (CA). Licence professionnelle PE 36538.

MÉTHODE

Inspection visuelle en service

Auscultation méthodique sur la pleine longueur traitée des 9 sites, alignée sur les principes de la norme *ASTM D6433*. Inspections terminées en avril 2026.

PORTÉE

Bilan documentaire

Constat empirique de performance observée. Le dimensionnement projet par projet reste de la responsabilité de l'ingénieur de conception.

| Question posée à chaque site

À l'inspection visuelle en service par un ingénieur qualifié, observe-t-on un défaut de chaussée **attribuable au gel-dégel** — fissures, faïençage, soulèvement, nids-de-poule, orniérage ou fissuration par glissement ?

La dégradation gel-dégel d'une chaussée souple s'appuie sur des supports physiques précis. **LL-TEQ ne fournit aucun de ces supports.**

PAS DE MATRICE BITUMINEUSE

Rien à durcir, rien à fissurer

LL-TEQ n'utilise pas de liant bitumineux soumis au vieillissement et au durcissement. Les contraintes thermiques cycliques ne trouvent pas de matrice fragile sur laquelle agir.

PAS DE PORES CONNECTÉS

L'eau ne pénètre pas, le gel ne s'amorce pas

La cohésion dense de la couche élimine la porosité connectée et la rétention capillaire. Sans eau libre dans la matrice, aucune lentille de glace ne peut se former à l'intérieur de la couche.

PAS D'INTERFACE

Une seule structure, un seul bloc

La couche est formée en place comme un ensemble unifié, sans stratification ni plan adhésif. Aucune interface où des contraintes différentielles pourraient se concentrer.

SOL NATIF INTÉGRÉ

La fraction fine entre dans le bloc

La fraction supérieure du sol natif est intégrée dans la matrice cohésive. La masse de sol fin susceptible de former des lentilles de glace au contact direct de la couche est réduite à la source.

* Cadre à deux mécanismes établi par l'Engineer of Record dans la note de cadrage du dossier technique (§3.3), aligné sur la grille d'inspection ASTM D6433.

Mécanisme 1 (M1) — Fatigue thermique cyclique

Gouverné par le nombre de transitions de la température de l'air autour de 0 °C. Chaque cycle impose à la chaussée une contraction puis une dilatation qui favorisent la formation de fissures thermiques dans la matrice asphalte. Ces fissures, par infiltration d'eau et action conjuguée du gel et du trafic, peuvent évoluer en nids-de-poule.

Mécanisme 2 (M2) — Soulèvement structural par gel profond

Activé lorsque le front de gel saisonnier pénètre dans le sol natif sous-jacent et produit, dans les sols gélifs, la formation de lentilles de glace par ségrégation. Ces lentilles soulèvent la chaussée et peuvent générer une fissuration structurale traversant toute son épaisseur.

✓ LL-TEQ neutralise les deux à la source

M1 — pas de matrice bitumineuse à durcir, pas d'interface où la contrainte se concentre.
M2 — pas de plan de glissement interne, et la fraction supérieure du sol natif est intégrée dans le bloc cohésif. Les deux mécanismes restent **sans support physique** dans la structure LL-TEQ.

Les 9 sites du dossier ont été mis en œuvre selon deux techniques distinctes, qui produisent toutes deux une **couche cohésive unifiée** assurant à la fois la surface de roulement et la fonction structurale.



| **Recyclage à froid en place (*Cold Recycling*)**

Quatre sites traités : Benton Harbor, Alexandria, Glenview, Bessemer. Le recycleur intègre l'enrobé bitumineux dégradé existant et la base granulaire de gravier sous-jacente dans une couche cohésive de ≈ 150 mm (6 po), sans interface ni stratification.

Cas d'usage : réhabilitation d'une chaussée existante dégradée.

| **Stabilisation en place du *In-place Soil* sol natif (*Stabilization*)**

Cinq sites traités : Rockford, East Chicago, Elgin, Bridgeport, Big Bear Lake. La couche LL-TEQ constitue à elle seule la chaussée, sur ≈ 150 mm (≈ 200 mm à Bridgeport pour la charge la plus exigeante du dossier). Aucune base granulaire ni sous-fondation ajoutée.

Cas d'usage : nouvelles chaussées sans structure conventionnelle préalable.



Les 9 sites de référence — 77 hivers, 0 défauts

06

Inspections visuelles signées par l'*Engineer of Record* en avril 2026

#	SITE, ÉTAT	KÖPPEN	HIVERS	CATÉGORIE DE ROUTE	VERDICT GEL-DÉGEL
1	Benton Harbor, MI	Dfa	9	Locale (municipale, effet de lac)	0 défaut
2	Alexandria, VA	Cfa	9	Locale (argile marine du Potomac)	0 défaut
3	Rockford, IL	Dfa	8	Collectrice (transport lourd)	0 défaut
4	Glenview, IL	Dfa	8	Locale (accès parc, sol silteux)	0 défaut
5	East Chicago, IN	Dfa	8	Artérielle (corridor industriel)	0 défaut
6	Elgin, IL	Dfa	8	Collectrice (transport lourd)	0 défaut
7	Bridgeport, CA	Dsb	10	Artérielle (piste militaire, 2 070 m)	0 défaut
8	Big Bear Lake, CA	Csb	7	Locale (accès montagne, 2 050 m)	0 défaut
9	Bessemer, AL	Cfa	10	Locale (le plus ancien — 10 hivers)	0 défaut

Détail site par site (climat, sol, événements météo traversés, ESAL cumulés, interventions documentées) dans le dossier technique complet, disponible sur demande.



| Pourquoi ce site compte

Mise en service en **avril 2016** par recyclage à froid en place. **10 hivers cumulés**, climat subtropical humide (*Cfa*), pluviométrie ~1 300 mm/an et sol natif silteux. Le couplage humidité + sol fin documente la durabilité long terme de LL-TEQ sous un régime à oscillations fréquentes autour de 0 °C.

| Événements traversés

- Tornade EF3, janvier 2021 (~240 km/h, comté de Jefferson)
- Inondations soudaines, mars 2022 (~130 mm en quelques heures)
- Vague de froid arctique, décembre 2022

| Constat avril 2026 (10 hivers)

Aucune fissure, aucun faiençage, aucun soulèvement, aucun nid-de-poule, aucune ornière. Usure de surface « *peu prononcée pour dix hivers d'exposition* ».

| Pourquoi ce site compte

Mise en service **août 2018**. Infrastructure d'accès en zone récréative riveraine forestée, comté de Cook. **8 hivers**, climat continental humide (*Dfa*), **sol silteux en plaine inondable** — comparable aux dépôts meubles des Basses-Terres du Saint-Laurent.

| Pertinence Québec

Le site documente la performance de LL-TEQ sur un support fin susceptible au soulèvement au gel et à la perte de portance au dégel — exactement le profil de sol qui pose problème aux chaussées conventionnelles des Basses-Terres.

| Constat avril 2026 (8 hivers)

Aucune fissure, aucun faïençage, aucun soulèvement, aucun nid-de-poule, aucune ornière. Cohésion intacte sur la pleine longueur traitée.





| Pourquoi ce site compte

Mise en service **juillet 2016** par stabilisation en place du sol natif sur ≈ 200 mm (8 po), **sans aucune structure conventionnelle préalable.**

Piste à 2 070 m d'altitude, versant est de la Sierra Nevada, climat *Dsb* — **~ 172 cycles gel-dégel/an**, plus du double du régime québécois.

| La charge documentée

Accueille en service réel le **C-17 Globemaster III** — masse maximale au décollage **$\sim 265\ 000$ kg**. Un régime de charge qui dépasse par marge substantielle toute charge rencontrée sur les réseaux routiers civils.

| Constat avril 2026 (10 hivers, 1 720 cycles cumulés)

Aucun défaut imputable au cycle gel-dégel.
Intégrité conservée sous charge aéronautique militaire et hiver de montagne prolongé.

Les 9 sites du dossier couvrent quatre régimes climatiques *Köppen* distincts, tous comparables — sur les paramètres dominants de la dégradation gel-dégel — au régime **Dfb** des Basses-Terres du Saint-Laurent (référence Montréal).

RÉGIME KÖPPEN	SITES DU DOSSIER	PERTINENCE QUÉBEC
Dfa — continental humide	Benton Harbor, Rockford, Glenview, East Chicago, Elgin	Voisin direct du Dfb québécois ; cycles gel-dégel et hivers comparables, sols fins gélifs
Cfa — subtropical humide	Alexandria (VA), Bessemer (AL)	Forte pluviométrie + sols argileux expansifs (Alexandria : argile marine du Potomac, analogue aux argiles Champlain)
Dsb — continental d'altitude	Bridgeport (CA)	~172 cycles gel-dégel/an — plus du double du régime Dfb québécois
Csb — méditerranéen de montagne	Big Bear Lake (CA)	~153 cycles gel-dégel/an, oscillation thermique journalière de haute montagne

| Référence Dfb — Montréal

≈75 cycles gel-dégel par année, ≈210 cm de neige annuelle. Cinq sites du dossier **dépassent** ce nombre de cycles annuels ; deux le dépassent largement (Bridgeport, Big Bear Lake).

En juillet 2015, dix éprouvettes Proctor traitées au LL-TEQ — réparties en quatre matrices distinctes (asphalte, calcaire, argile, sable) — ont été placées en exposition continue à l'air libre à **Highland Park (Illinois)**, en climat continental humide *Dfa*.

✓ 11 ans plus tard — examen visuel d'avril 2026

Aucune des dix éprouvettes ne présente de fissuration, qu'elle soit thermique, structurale ou de retrait. Sous l'effet exclusif des sollicitations climatiques — cycles gel-dégel, variations thermiques saisonnières, précipitations, rayonnement — la couche LL-TEQ ne développe pas de fissuration.

Cette observation corrobore le constat des 9 sites en service : **l'usure relevée en surface des chaussées en service est attribuable aux sollicitations d'exploitation** (trafic, équipements d'entretien hivernal, pneus à clous), et non au cycle gel-dégel.

« Je soussigné, Mark D. Hardy, ingénieur, en ma qualité d'*Engineer of Record* pour Hardy Engineering, atteste avoir préparé ou supervisé la préparation du présent dossier maître de performance gel-dégel du système LL-TEQ. Le dossier rassemble **9 sites de référence en service réel**, répartis sur 6 États américains et 4 régimes climatiques Köppen (Dfa, Dsb, Csb, Cfa) comparables au régime Dfb des Basses-Terres du Saint-Laurent, totalisant **77 hivers cumulés et 6 730 cycles gel-dégel**. »

« Les évaluations reposent sur l'inspection visuelle en service de chaque chaussée, conduite par un ingénieur qualifié selon les principes de la norme *ASTM D6433*. **Aucun défaut imputable au cycle gel-dégel** selon la grille des six catégories n'a été observé sur aucun des 9 sites. »

Mark D. Hardy, P.E. — *Engineer of Record, Hardy Engineering · Licence professionnelle PE 36538 · Déclaration du 19 mai 2026.*

La déclaration ci-dessus est extraite de la version française du dossier, fournie à titre de lecture. La version anglaise signée et scellée par l'Engineer of Record constitue le document officiel et fait foi en cas de divergence.

Ce résumé donne le résultat. Le **dossier technique complet** est disponible sur demande pour évaluation par votre équipe d'ingénierie : note de cadrage signée, 9 fiches de site détaillées (climat, sol, événements météo, ESAL, interventions, constat), synthèse comportementale par mécanisme, corroboration empirique Highland Park, déclaration de l'*Engineer of Record* (version anglaise officielle signée).



COURRIEL

info@ll-teq.com

TÉLÉPHONE

+1 418 476 5110

SITE WEB

ll-teq.com

ADRESSE

217-650 Rue Graham Bell
Québec, QC G1N 4H5, Canada