

Dossier technique de la chaussée stabilisée à froid en place

Performance structurale, gel-dégel, chaleur, acceptation militaire, innocuité écologique et empreinte carbone.

Québec, Canada · Juin 2026



LL-TEQ™ · DOCUMENT TECHNIQUE

Dossier technique

La chaussée stabilisée à froid en place, de la structure au carbone

Contenu du dossier

01 Performance structurale	06 Empreinte carbone
02 Performance gel-dégel	07 Applications et procédés
03 Résistance à la chaleur	08 Réparation : tranchées et nids-de-poule
04 Acceptation militaire	09 La science derrière la technologie
05 Innocuité écologique	10 Qui est LANDLOCK™

Québec, Canada · Juin 2026

Document technique. Les dossiers d'ingénierie signés par l'Engineer of Record constituent les pièces officielles et font foi.

La valeur du cylindre de laboratoire non confiné n'est pas la performance en service : c'est un plancher que la couche confinée dépasse.

3 705

PSI (25,5 MPa)

Résistance en compression maximale corrigée (UCS), cylindre non confiné selon ASTM C39/C42, sur agrégat recyclé concassé.

1,78

mm d'ornièrè

Ornièrè maximale à 20 000 passages (Hamburg Wheel-Track, AASHTO T-324, 25 degrés sous immersion), soit 14 % du seuil admissible.

16

éprouvèttès

Éprouvèttès LL30 testées sur 7 ans (2016 à 2023) en laboratoire tiers accrédité AASHTO, sur 3 catégories de substrat.

Pourquoi ça compte. En service, la couche LL30 est confinée latéralement par le matériau traité environnant et ne peut pas se dilater. Le cylindre de laboratoire, lui, est testé sans confinement, dans des conditions qui n'existent pas sur la route. Un tas de sable s'étale sous votre poids ; le même sable dans un seau rigide en porte bien davantage. Le sable n'a pas changé, le confinement change ce qu'il porte. La résistance en service dépasse donc la valeur de laboratoire.

Charges réelles d'aéronefs, mesurées sur le terrain

2 470

passages C-17

C-17 Globemaster à environ 204 t, calculés par PCASE 2.09 à Mocoron, Honduras (USAF AFSOC).

10 000+

passages KC-130J

KC-130J à environ 79 t à l'ALZ Sandhill, 29 Palms ; CBR de surface supérieur ou égal à 60 (USMC, 2019).

100 000

cycles MMLS

Charge accélérée MMLS à 46 à 60 degrés, sans déflexion ni ornièrage mesurable (Kamen Engineering).

Étanchéité structurale

La conductivité hydraulique chute d'environ un ordre de grandeur, de $6,0 \times 10^{-8}$ à $5,9 \times 10^{-9}$ cm/s (ASTM D5084).

Stabilité thermique

L'ornièrè reste à 1,33 mm à 25 degrés et 1,29 mm à 35 degrés : aucun ramollissement à la chaleur, aucun durcissement avec l'âge.

Portance immédiate (IPI)

IPI de 200 à 335 selon le dosage après séchage, soit environ 3 à 5 fois la référence non traitée (IPI 68).



Aérodrome militaire de l'ALZ Sandhill, 29 Palms : couche LL-TEQ comme surface de roulement finale sous charges d'aéronefs.

Neuf chaussées en service réel, jusqu'à 172 cycles de gel par an, aucun défaut, sur une couche bien plus mince qu'au Québec.

9	77	6 730	0
sites en service réel	hivers	cycles de gel-dégel	défaut
Benton Harbor (Michigan) Route municipale, locale 9 hivers · ≈ 770 cycles LL-TEQ 150 mm Québec 550 à 950 mm 0 défaut gel-dégel	Alexandria (Virginie) Route municipale, locale 9 hivers · ≈ 405 cycles LL-TEQ 150 mm Québec 550 à 950 mm 0 défaut gel-dégel	Rockford (Illinois) Transport lourd, collectrice 8 hivers · ≈ 720 cycles LL-TEQ 150 mm Québec 750 à 1 150 mm 0 défaut gel-dégel	
Glenview (Illinois) Accès de parc, locale 8 hivers · ≈ 573 cycles LL-TEQ 150 mm Québec 550 à 950 mm 0 défaut gel-dégel	East Chicago (Indiana) Corridor industriel, artérielle 8 hivers · ≈ 536 cycles LL-TEQ 150 mm Québec 1 000 à 1 500 mm 0 défaut gel-dégel	Elgin (Illinois) Transport lourd, collectrice 8 hivers · ≈ 576 cycles LL-TEQ 150 mm Québec 750 à 1 150 mm 0 défaut gel-dégel	
Bridgeport (Californie) Piste militaire, artérielle 10 hivers · ≈ 1 720 cycles LL-TEQ 200 mm Québec 1 000 à 1 500 mm 0 défaut gel-dégel	Big Bear Lake (Californie) Accès de montagne, locale 7 hivers · ≈ 1 070 cycles LL-TEQ 150 mm Québec 550 à 950 mm 0 défaut gel-dégel	Bessemer (Alabama) Route municipale, locale 10 hivers · ≈ 360 cycles LL-TEQ 150 mm Québec 550 à 950 mm 0 défaut gel-dégel	

Les six défauts de gel-dégel recherchés sur chaque site, tous absents

Fissures longitudinales et transversales	Retrait thermique de la matrice d'asphalte au fil des cycles.
Faiçonnage	Fatigue en peau de crocodile, amplifiée par le gel-dégel de la fondation.
Soulèvement au gel	Lentilles de glace formées dans un sol gélif sous-jacent.
Fissuration par glissement	Décollement d'une couche de surface posée en recouvrement.
Nid-de-poule	Expulsion de matériau à partir de fissures, sous l'eau et le gel.
Orniérage	Déformation permanente dans les pistes de roue au dégel.

Repère climatique, Montréal : environ 75 cycles de gel-dégel par an (Köppen Dfb) ; cinq des neuf sites dépassent ce rythme. Épaisseur québécoise équivalente : 550 à 1 500 mm selon la catégorie de route, contre 150 mm pour le LL-TEQ (200 mm à Bridgeport).

Source : Dossier d'ingénierie PRV-02, Performance au gel-dégel, Mark D. Hardy, P.E., Hardy Engineering.

Le bitume cède parce qu'il fond ; le LL-TEQ ne fond pas

Le bitume cède parce qu'il fond. Le LL-TEQ, lui, ne fond pas.

926

degrés (1 700 F)

La chaleur du jet d'un F-35B au sol, à laquelle une couche LL-TEQ a été soumise en service.

1 à 3

mm

Le seul effet constaté, un noircissement de surface ; structure et portance intactes.

15x

de marge

926 degrés, c'est environ 15 fois le pic d'été d'une chaussée québécoise (50 à 60 degrés).

Pourquoi ça tient. L'enrobé (asphalte) ordinaire cède à cause de son liant, le bitume, qui ramollit dès 45 à 65 degrés puis fond. Le LL-TEQ ne fond pas : son liant polymère ne ramollit pas, et près de 98 % de la couche est minérale, inerte à ces températures. Sous une chaleur extrême, seule la surface se carbonise sur 1 à 3 mm et forme un bouclier, comme un bouclier de rentrée atmosphérique ; dessous, le matériau reste froid et la structure tient.

Constaté en service réel, sous le jet d'un F-35B

Sept. 2021

Atterrissages verticaux de F-35B à Twentynine Palms (USMC, Californie).

8 pouces

Couche LL-TEQ sur sol natif, en zone d'impact direct du jet.

0

Fissure, déformation ou perte de portance ; un seul noircissement de 1 à 3 mm.

Ne fond pas

Liant polymère non thermoplastique et squelette minéral à près de 98 %, inerte aux températures en jeu.

Bouclier de surface

La couche se carbonise sur 1 à 3 mm et protège le dessous, qui reste froid ; la structure n'est pas atteinte.

Marge énorme

Une chaussée d'été plafonne vers 60 degrés, un feu de véhicule vers 600 à 900 degrés : le LL-TEQ encaisse bien au-delà.



Le jet d'échappement d'un F-35B en atterrissage vertical frappe le sol, à 926 degrés selon la norme de référence.

Source : Dossier d'ingénierie PRV-03, Résistance à la chaleur, Mark D. Hardy, P.E., Hardy Engineering.

Le système LL-TEQ a été déployé et certifié comme surface de roulement finale sous charges aéronautiques militaires : ce qui porte le plus lourd porte le plus léger.

20

sites militaires

Déploiements militaires et gouvernementaux documentés, sur 14 pays et 5 continents, comme surface de roulement et couche structurale.

23 847

passages C-130

Cote d'admissibilité certifiée à Mocoron, Honduras (USAF AFSOC) sous C-130J à environ 70 t, calculée par PCASE 2.09.

2 470

passages C-17

Cote d'admissibilité certifiée à Mocoron sous C-17 Globemaster à environ 204 t (charge d'évaluation).

Ce que ça prouve. Les cotes d'admissibilité ne sont pas des projections de laboratoire : elles dérivent du CBR mesuré au DCP sur le terrain, traité par PCASE 2.09, l'outil officiel de l'USACE / ERDC. Elles ont été certifiées par des autorités militaires nommées, l'USAF AFSOC et l'USMC. L'enveloppe militaire borne par le haut l'usage routier courant sur chaque axe : charge, vitesse et conditions de surface.

Certifié sous le cadre normatif des chaussées militaires US

10 000+

passages KC-130J

ALZ Sandhill, Twentynine Palms : cote certifiée USMC (2019), avec un CBR de surface de 60 et plus.

36

CBR Cherry Point

Essai comparatif USMC (2017) sous camion MTVR à environ 18 t : OPSDIRT à CBR 36 contre 17,5 pour le concurrent, sans arrachement.

265 000

kg (C-17)

Masse maximale au décollage du C-17 accueilli en service réel à Bridgeport sur une couche LL-TEQ d'environ 200 mm.

Mocoron, Honduras (2015)

Piste évaluée par 28 lectures DCP ; cotes PCASE certifiées USAF AFSOC pour C-17 et C-130. CBR de surface 30,9.

N'Djamena, Tchad (2016)

Voie de circulation et aire construites sous devis US Air Force pour Flintlock 17, revue signée par un P.E.

29 Palms, piste expéditionnaire (2024)

Environ 35 000 m² mis en place en 4 jours, à 100 % sol natif avec recycleur à froid, supervision USMC.



Évalué sous PCASE 2.09, UFC 3-260 et ETL 02-19. Le dimensionnement projet par projet demeure de la responsabilité de l'ingénieur de conception.

L'eau qui quitte la route **ne pollue pas** : versée pure sur des organismes vivants, elle ne les tue pas, et la couche scellée empêche l'eau de porter quoi que ce soit vers le sol et la nappe.

0

mortalité toxique

Aucune mortalité toxique significative chez les organismes exposés au ruissellement de la route.

100 %

ruissellement pur

Testé non dilué, à la concentration maximale possible, pas une version atténuée.

10 fois

moins perméable

L'eau traverse dix fois moins la couche traitée que le sol nu, donc rien ne migre vers le sol ni la nappe.

Mesurée, pas devinée. Plutôt que de juger le matériau par sa liste d'ingrédients, on a versé l'eau de pluie ruisselée de la route, pure et non diluée, sur des organismes aquatiques sentinelles. Après 48 heures, ils vivaient aussi bien que dans une eau de laboratoire propre.

Reconnu par des autorités fédérales américaines**USFWS**

Usage approuvé en habitat d'espèce protégée (souris des plages de l'Alabama).

NEPA

Exclusion catégorielle accordée, sans circonstance exceptionnelle (Sierra Army Depot).

EPA

Méthodes d'essai officielles, laboratoire indépendant accrédité.

Prouvé sur le vivant

On a versé l'eau de route pure sur des organismes sensibles, ils ont survécu. Pas une prédiction tirée d'une recette, une mesure directe.

Rien ne migre

La couche durcie est presque imperméable. L'eau n'y circule pas et n'emporte rien vers le sol ni vers la nappe sous la route.

À base d'eau, pas de pétrole

Une émulsion à base d'eau lie le sol en place, sans le bitume foncé issu du pétrole, sans cancérigène répertorié, non classée dangereuse.

Source : Dossier PRV-05, Innocuité écologique. Essai biologique de toxicité aiguë sur ruissellement (WET) : Coastal Bioanalysts, Inc., Peter F. De Lisle, Ph.D., laboratoire accrédité NELAP/TNI. Méthodes EPA 2000.0 et 2002.0.

Pour la même route, le LL-TEQ pèse **près de six fois moins de carbone** que l'enrobé, comparé couche par couche sur une vraie structure du ministère des Transports du Québec.

179

voitures de moins

Convertir 1 km d'enrobé en LL-TEQ équivaut à retirer environ 179 voitures à essence pendant un an.

320 t

de CO₂ en moins

Par km de route, dès le jour 1 : environ 68 t pour le LL-TEQ contre 388 t pour l'enrobé.

7 fois

plus mince

150 mm de sol stabilisé en place au lieu de 1 080 mm de structure conventionnelle.

Comparé à fonction égale. Les deux chaussées font le même travail sur la même route nationale. Le calcul est même prudent : le LL-TEQ est compté complet, fabriqué, posé et transporté, alors que l'enrobé est compté sans sa pose, faute de donnée publique. L'écart réel penche donc encore plus du côté du LL-TEQ.

Carbone par kilomètre de route, en tonnes CO₂e

Pour 1 km à deux voies (7 000 m²), au jour 1, transport compris.



Et l'écart se creuse : environ 203 t contre 970 t par km sur 40 ans, entretien et réparation compris.

Moins de matière

150 mm de sol traité en place plutôt que 1 080 mm de pierre et d'enrobé importés, donc bien moins à extraire, fabriquer et camionner.

Posé à froid

Aucune centrale qui chauffe le bitume et les granulats à haute température, l'émulsion s'épand à température ambiante.

Durable

Des surfaces en service depuis 2014 sans réparation de structure attestée. Chaque réparation évitée, ce sont des tonnes de carbone en moins.

Source : Dossier PRV-06, Empreinte carbone comparée. Structure de référence : Tome II du ministère des Transports du Québec. Facteurs d'émission publics : NAPA (enrobé), PlasticsEurope (polymère), EPA (transport et équivalence voitures). Comparaison d'ordre de grandeur.

Procédé 1 : chaussée complète, du fraisage au scellement

Intégration du LL30 dans toute l'épaisseur prévue au projet (50 à 200 mm), compactée à 95 %+, suivie d'un scellement de surface au LL25. La niveleuse suit directement la stabilisatrice ; le séquençement est fraisage, mise en forme, première compaction, nivellement de finition, compaction finale, scellement.



1

Fraisage et intégration

Intégrer le LL30 à la stabilisatrice (recycleuse à froid) sur la profondeur visée, 50 à 200 mm, sur support stable d'enrobé, de sol natif ou de gravier.



2

Mise en forme

La niveleuse suit directement derrière la stabilisatrice et met en forme selon la géométrie prévue au projet.



3

Première compaction

Rouleau double tambour acier ; protège la surface. En cas de pluie, pousser jusqu'à 95 %+ sans attendre.



4

Nivellement de finition

Reprise à la niveleuse pour le réglage final de la surface avant la compaction finale.



5

Compaction finale

Compacter en passes croisées jusqu'à 95 %+ . Vérification par l'entrepreneur accrédité.



6

Scellement LL25

Après 2 h, appliquer le LL25 à la rampe arrière du camion-citerne jusqu'à saturation de surface uniforme.

Conditions et points de contrôle. Support non gelé et stable, température ambiante et support supérieurs à 5 °C. Ne pas travailler sous la pluie. OMC vérifié tous les 25 m derrière la stabilisatrice. Compaction finale à 95 %+ en passes croisées. Délai de 2 h après la compaction finale avant le scellement. Cure par évaporation, minimum 12 h ; réouverture lorsque la surface n'est plus collante au toucher, sur jugement de l'entrepreneur accrédité.

Procédé 2 : scellement de surface seul au LL25 sur enrobé existant

LL25 est un liant polymérique à base d'eau appliqué en surface. Il réduit la pénétration de l'eau et limite les effets du vieillissement de l'enrobé ; usage principal, protection et prolongation de la durée de vie des surfaces asphaltées. Il s'applique aussi directement sur sol natif ou sur gravier, pour sceller et lier la surface là où il n'y a pas d'enrobé. Pénétration de surface d'environ 20 mm. Support non gelé, température supérieure à 5 °C.



Camion-citerne distributeur à rampe de pulvérisation calibrée.

1

Inspecter et valider la stabilité du support ; nettoyer, retirer les contaminants, corriger les défauts majeurs. Sur enrobé, la surface doit être sèche.

2

Pulvériser le LL25 de façon uniforme à la rampe calibrée (camion-citerne ou distributeur).

3

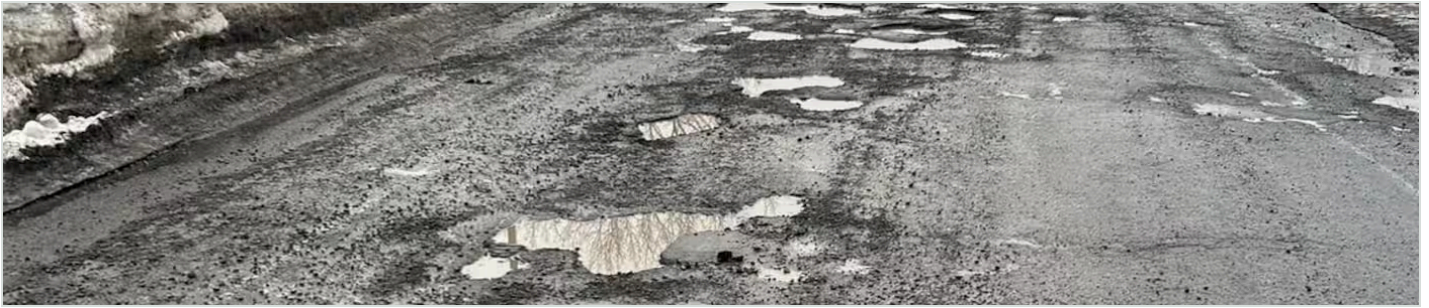
Appliquer des passages additionnels jusqu'à saturation de surface uniforme, selon l'absorption du support.

4

Laisser curer sans perturbation : au moins 3 h sans pluie, aucune circulation avant la prise de surface.

Référence : Document préparé par LL-TEQ. Réf. : TEQ-01 (procédé chaussée) et TEQ-20 (Manuel technique LL25, Rév. B). Le dimensionnement et la réception de l'ouvrage relèvent du concepteur du projet.

Absence de nids-de-poule



L'asphalte ordinaire se troue au printemps. Une chaussée LL-TEQ ne se troue pas : pas d'eau, pas de fissure, pas de nid-de-poule.

10x

moins perméable

Conductivité hydraulique abaissée d'un ordre de grandeur (ASTM D5084). L'eau ne pénètre pas.

6 730

cycles gel-dégel

Endurés sur 9 chaussées en service, 77 hivers, sans défaut attribuable au gel (ASTM D6433).

Monolithe

sans joint

Couche continue et ductile : aucune fissure ni joint où un trou pourrait s'amorcer.

Pourquoi ça n'arrive pas. Un nid-de-poule vient d'une chaîne : l'eau entre par une fissure, gèle et dégèle, désagrège la base, le trafic arrache le morceau. LL-TEQ la casse : pas d'eau qui entre, pas de fissure pour amorcer, pas de dommage de gel.

Réfection de tranchées



Tranchée de service refermée : la réparation se fond dans la chaussée, pendant que le vieil asphalte se fissure autour.

La tranchée redevient une couche continue, pas un joint qui finit par lâcher : refermée sans goujon, avec l'équipement routier courant.

0

goujon

Couche LL30 continue et monolithique : aucune barre d'ancrage, contrairement au béton.

2x

plus résistant

Compression du LL30 (1 625 PSI) au-delà du double du sol stabilisé au ciment Portland (ASTM C39/C42).

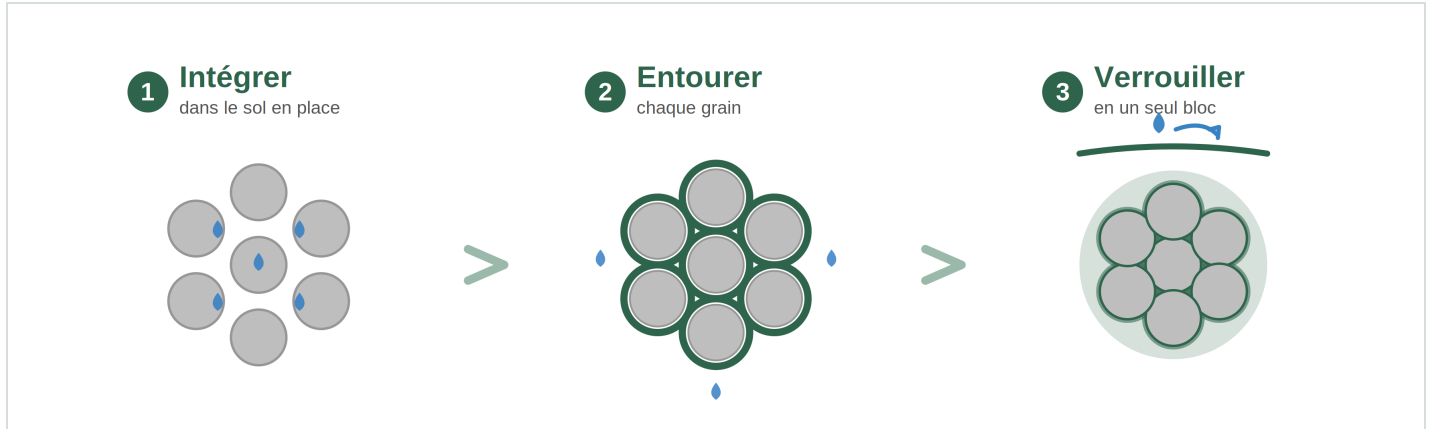
C-17

charges acceptées

La même couche LL30 continue, sans goujon, acceptée sous charges d'aéronefs militaires (PCASE 2.09).

LL-TEQ empêche l'eau d'entrer dans le sol, partout dans la structure, pas seulement en surface. C'est ce qui met fin au cycle gel-dégel qui fait éclater nos routes de l'intérieur.

Comment ça marche, en trois étapes



Pas d'ajout de matériaux : on transforme le sol déjà en place en une matrice scellée. L'eau ne peut plus entrer, même en immersion complète.

Rigide, mais avec de la mémoire. Comme le caoutchouc qu'on étire et qui reprend sa forme, le polymère combine des segments durs qui portent la charge et des segments souples qui absorbent le gel et les variations de pression. Le sol traité reste solide comme un bloc, avec juste assez de souplesse pour ne pas fissurer après des années de gel-dégel.

Un produit qui change d'état au bon moment

Épais

Avant l'application : dense et stable, il reste en place, il ne coule pas.

Fluide

Au malaxage et au compactage : il se faufile entre les grains et entoure chaque particule.

Rigide

Après le compactage : il fige et verrouille la structure entière.

Portance élevée

La charge se répartit dans tout le volume traité. Pas de point faible, pas de zone qui s'affaisse en premier.

Résistance à la fatigue

La structure encaisse les passages répétés de camions et d'équipement lourd sans dégradation.

Résistance à l'eau

Elle reste stable même en conditions humides ou en immersion complète.

Source : Dossier LL-TEQ, fonctionnement du procédé. Pièce interne, sans signataire. Les performances mesurées sont détaillées aux dossiers PRV-01 (performance structurale) et PRV-02 (gel-dégel).

Née à Chicago, éprouvée dans **des hivers aussi rudes que les nôtres**, la technologie de LANDLOCK™ a depuis voyagé jusqu'au mur frontalier américain.

3

fondateurs à Chicago

Technologie inventée par les trois fondateurs de LANDLOCK™, dont les frères Jon et Jay Walley, avec Mike Kostorowski.

-39 °C

et ça tient

Chaussées éprouvées dans les hivers à vortex polaire de l'Illinois, plus durs que les nôtres, sans soulèvement au gel.

250 000

verges² au mur

Routes lourdes stabilisées pour le mur frontalier américain, en sol désertique (2020).

Le même climat que nous. Plusieurs chaussées de référence sont à Chicago et dans sa région, dans des sols fins comparables aux argiles des Basses-Terres du Saint-Laurent, sous des hivers à vortex polaire. La route artérielle d'East Chicago a encaissé plus d'un million de passages d'essieux lourds sur seulement 150 mm. Ce qui tient là tient ici.

D'où vient la technologie

LANDLOCK™

La technologie de stabilisation polymérique du sol, à l'origine de tout.

OPSDIRT

Sa filiale militaire, qui a porté la technologie sur les théâtres d'opérations.

LL-TEQ

Le distributeur exclusif au Québec et au Canada, adapté à notre climat.

Nommé par l'armée

Le US Army Corps of Engineers a nommé OPS-DIRT, le produit de LANDLOCK™, dans le devis du mur frontalier de l'Arizona (2019).

Éprouvé partout

20 sites militaires sur 14 pays, des déserts de l'Arizona au Tchad, au Niger et au Koweït, certifié pour des milliers de passages d'aéronefs lourds.

Le même produit ici

LL30 et LL25 sont les produits militaires OPS30 et OPS25 : le matériau exact, distribué au Québec par LL-TEQ.

Source : Dossier LL-TEQ. Fondateurs et identité : déclaration d'identité LANDLOCK™ (Chicago). Hivers et East Chicago : dossier gel-dégel PRV-02. Mur frontalier : US Army Corps of Engineers, appel d'offres W912PL19R0093 (2019). Déploiements militaires : dossier PRV-04.

Un seul système, formé en place à froid, qui transforme le sol en une structure unique : **structurale, durable, sûre et bien plus sobre en carbone.**

926

degrés encaissés

Jet d'un F-35B au sol : 1 à 3 mm de noircissement, structure et portance intactes (section 03).

6 730

cycles gel-dégel

Sur 9 sites et 77 hivers en service réel, zéro défaut gel-dégel observé (section 02).

6x

moins de carbone

Environ 9,6 contre 55 kg CO₂e/m² face à l'enrobé, transport compris (section 06).

La même intégration tient chaque exigence

25,5 MPa

en compression

Résistance mesurée (UCS) ; ornière à 14 % du seuil admissible, portance 3 à 5 fois la référence (section 01).

14

pays, 5 continents

20 sites militaires certifiés jusqu'au C-17 (204 t) et au F-35B (section 04).

0

mortalité toxique

Survie à 100 % des organismes exposés au ruissellement non dilué de la route (section 05).

Le fil conducteur. La performance ne vient pas d'une couche posée sur le sol, mais du sol lui-même transformé en une matrice cohésive, non thermoplastique et étanche. La même intégration explique la portance sous charges d'aéronefs, la tenue au gel-dégel québécois, la résistance à la chaleur extrême, l'innocuité écologique mesurée et l'empreinte carbone réduite.

Ce que le dossier établit, et ses limitations

Établi par la donnée

Résistances, ornières, cycles gel-dégel, cotes d'admissibilité militaires et essais de toxicité proviennent d'essais et d'observations en service référencés.

Bornes assumées

Module de résilience CHAUSSÉE 2 (LC 22-400), innocuité chronique et analyse TCLP restent à produire ou à faire accepter par le régulateur.

Responsabilité de conception

Le dimensionnement et la réception d'un ouvrage précis relèvent de l'ingénieur de conception sous la juridiction applicable.

LL-TEQ



Nous joindre

WEB	ll-teq.com
COURRIEL	info@ll-teq.com
VENTES	sales@ll-teq.com
TÉLÉPHONE	+1 418 476 5110
RÉGION	Québec, Canada

