



MESURES DES PERFORMANCES MÉCANIQUES DE CHAUSSÉES PAR INSTRUMENTATIONS

BITUME QUÉBEC, FTA 2020

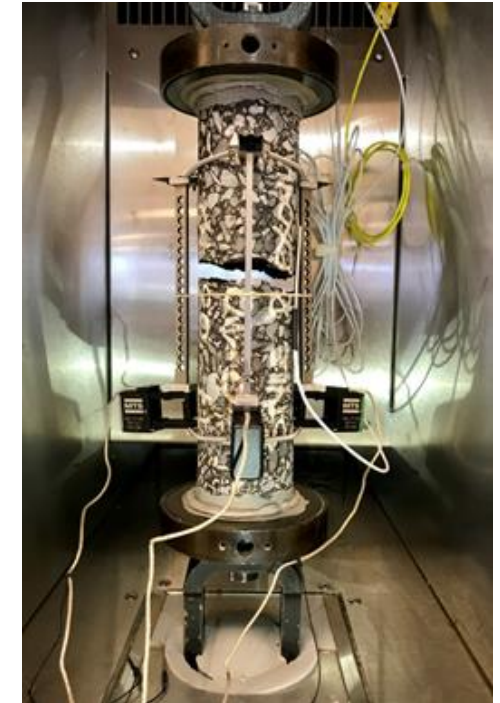
GESTION DE LA QUALITÉ

QUÉBEC, DÉCEMBRE 2020

PLAN DE LA PRÉSENTATION

MESURES DES PERFORMANCES MÉCANIQUES DE CHAUSSÉES PAR INSTRUMENTATIONS

- . Performances des Enrobés Bitumineux, Essais Rhéologiques;
- . Comportements Mécanistiques des Chaussées Flexibles;
- . Critères Usuels de Performances;
- . Stations Instrumentées / In-Situ;
- . Stratégie de Maintenances et Renforcements





PERFORMANCES DES ENROBÉS BITUMINEUX, ESSAIS RHÉOLOGIQUES

Rhéologie des Enrobés Bitumineux et approche de dimensionnement mécanique

■ Comportement Rhéologique des enrobés:

- ▶ Module de Rigidité
- ▶ Résistance en Fatigue
- ▶ Résistance au retrait thermique
- ▶ Autres essais:
 - Résistance à l'orniérage
 - ITSr

- ▶ Définition: Science des lois de comportement des matériaux , qui lient les contraintes aux déformations (élasticité, plasticité, viscosité, etc.).
- ▶ Dans le domaines des enrobés bitumineux: Études du comportement des enrobés par la réalisation d'essais de performances:
 - ✓ Module Élastique (visco-élastique) = Rigidité = Raideur = **Pouvoir structurant**
 - ✓ Résistance à la fatigue = Résistance à la fissuration suite à un très grand nombre de microdéformations = **Résistance au passage du trafic poids lourds à long terme**
 - ✓ Résistance au Retrait Thermique = Résistance à la fissuration provoquée par les contraintes internes qui se développent à très basse température = **Résistance aux fissures transversales**
 - ✓ Résistance à l'Orniérage = Résistance à la déformation par fluage des enrobés à hautes températures
 - ✓ ITSr = Indirecte Tensile Strains Ratio = Résistance aux désempolement

Résistance en fatigue

Methode de l'essai de fatigue

- . Comportement des enrobés sous des microdéformations traction – compression sinusoïdale dans le plan axial. Les essais sont réalisés a 10 Hz et 10°C.
- . Même éprouvettes que l'essai de Module complexe: 75 mm diam. et 150 mm de hauteur;
- . Niveaux de Microdéformations imposés (amplitude) en μdef (10^{-6});
- . Essais réalisés sur 9 a 18 éprouvettes divisés en 3 groupes (niveaux de déformations);
- . Les niveaux de déformations doivent encadrés 1 million cycles.

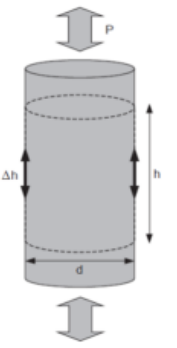
- L'essai simule l'effet des passages répétés des véhicules lourds sur l'enrobé bitumineux de base : tractions répétées.

La durée de vie avant rupture (autour du million de cycles) est évaluée en imposant des tractions et des compressions d'amplitude constante.

- La droite de fatigue permet de trouver la déformation correspondant à 1 million de cycles (ϵ_6) et la pente.

En conception, il faut s'assurer que les déformations en traction calculées de la couche de base sont inférieures à celles trouvées avec la droite de fatigue

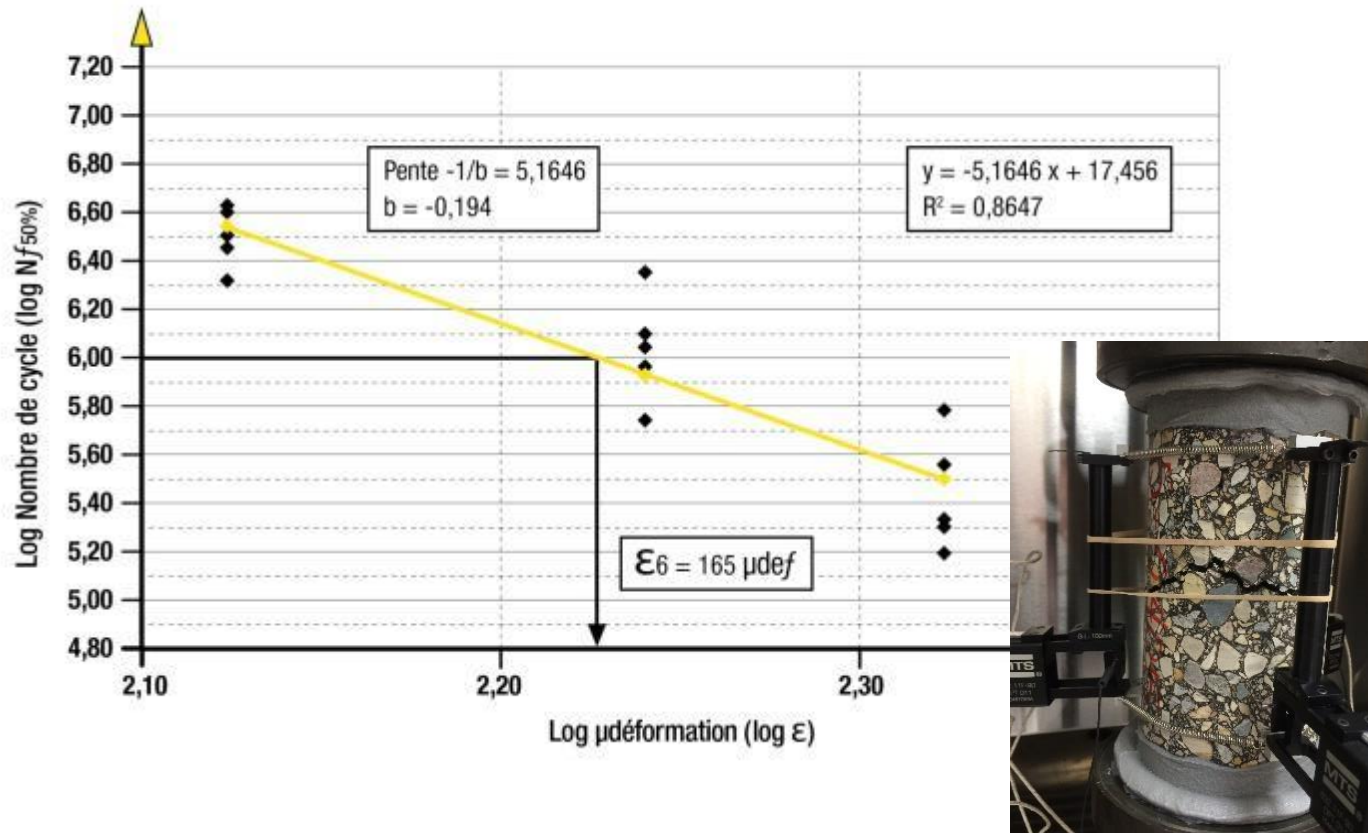
Plus la déformation ϵ_6 est élevée, plus l'enrobé bitumineux résistera au passage des camions



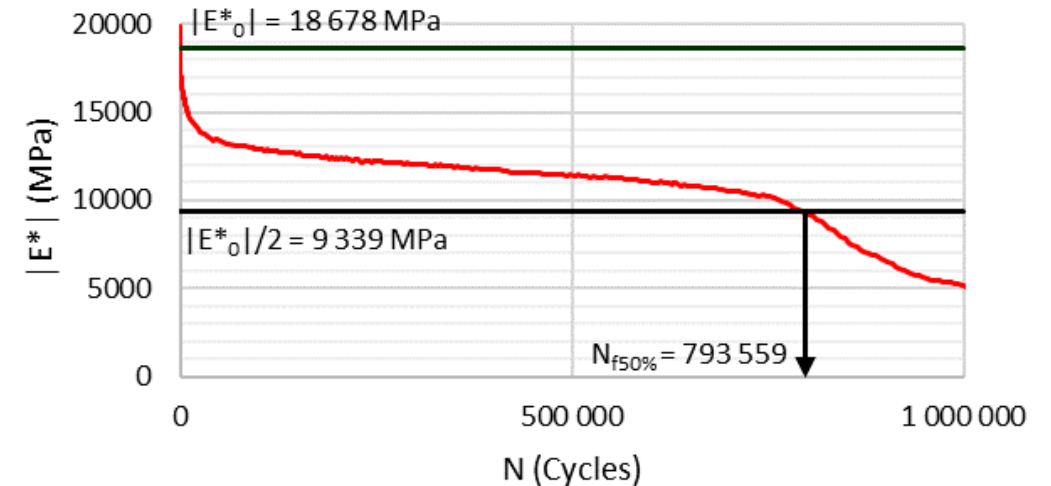
Liants Modifiés

Résistance en fatigue

Courbe de Whöler / Droite de fatigue



	Résultats des éprouvettes testées en fatigue, à 10°C, 10Hz					
	N° Eprouvette	Nombre de cycles (N)	Déformation Imposée ($\mu\epsilon$)	Moyenne (N)	Ln(N)	Ecart-type Ln(N)
LOT 1	1	15000000	130,0	11066667	16,524	0,29
	3	9500000	130,0		16,067	
	4	8700000	130,0		15,979	
LOT 2	8	690000	170,0	623333	13,444	0,09
	9	580000	170,0		13,271	
	12	600000	170,0		13,305	
LOT 3	14	200000	210,0	168333	12,206	0,16
	15	150000	210,0		11,918	
	18	155000	210,0		11,951	



Critère de rupture $N_{f50\%}$



COMPORTEMENTS MÉCANISTIQUES DES CHAUSSÉES FLEXIBLES

Méthode Française de dimensionnement

- La méthode M-E française de dimensionnement combine :

- ▶ une analyse mécanique du fonctionnement de la structure avec Temp. Équiv. annuelle – **Logiciel Alizé**
- ▶ les résultats d'essais de laboratoire sur l'endommagement par fatigue des matériaux et leurs rigidités
- ▶ les connaissances tirées de l'observation du comportement de chaussées réelles.

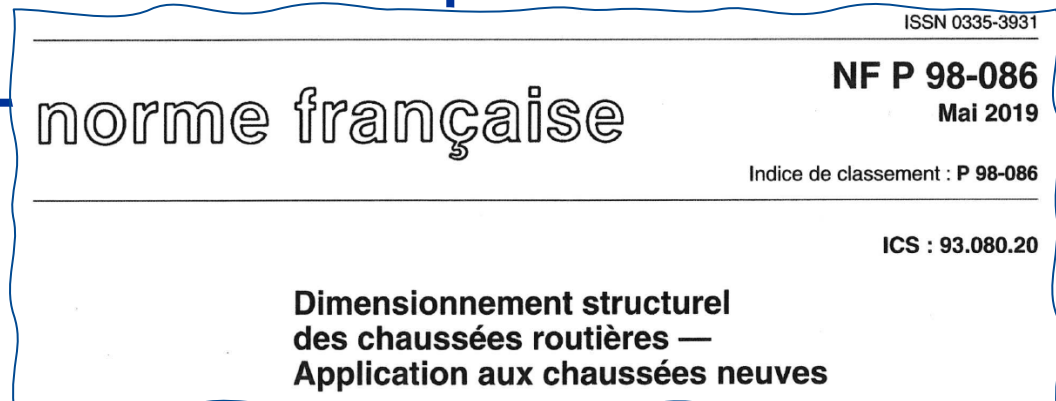
Mécanistique

Empirique

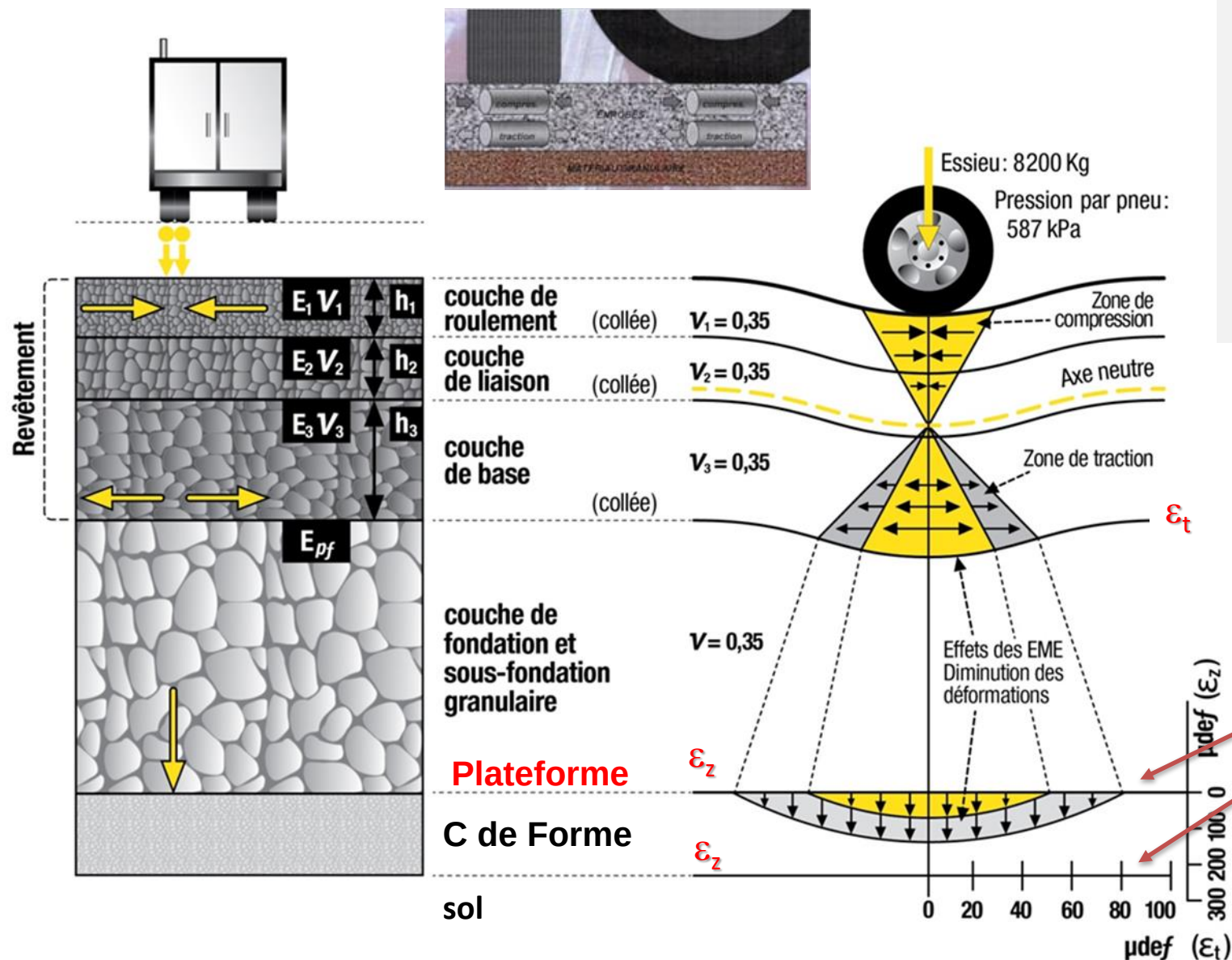
Guide Technique Conception et Dimensionnement des structures de chaussées

- présente la méthode de dimensionnement des chaussées, basée sur la mécanique des structures
- définit les principes, les fondements et les règles

Permet tous types de calculs, tous climats, dimensionnement de chaussées neuves, renforcement, chaussées aéronautiques, industrielles, rétrocalculs



Méthode de dimensionnement M-E



Description:

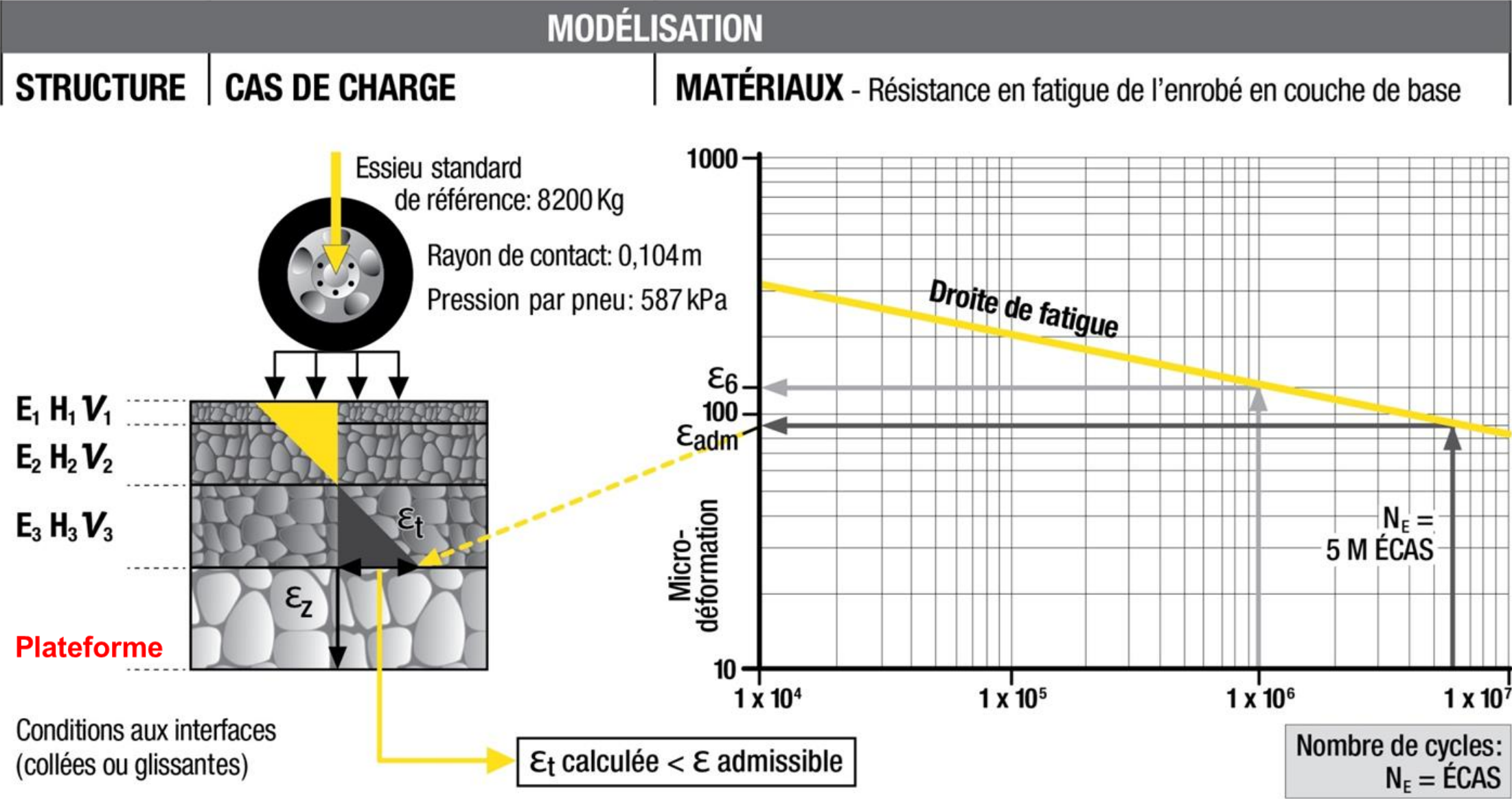
- .Méthodologie moderne basée sur:
 - .Modélisation des charges roulantes;
 - .Modélisation de la structures bitumineuses
- .Modèle multicouches élastique;
- .Pour chaque couche (de la surface au sol-support):
 - .Module de rigidité $|E^*|$
 - .Épaisseurs
 - .Coefficient de poisson
- .Conditions de collage des interfaces
- .Solides élastiques, Isotropes et semi-infinis en plan

Usages:

- .Optimisation de la structure par la détermination des déformations et contraintes admissibles
- .Permet la détermination de scénarios de renforcements a long terme basé sur l'analyse du dommage cumulatif (cumul de fatigue, loi de Miner);
- .Modélisation des structures de chaussées existantes et rétrocalculs pour renforcements



Méthode M-E / Comportement en fatigue





CRITÈRES USUELS DE PERFORMANCES

Critères usuels de performances

Types	Critères	Relevés
Superficiels / Sécurités	.Orniérages: < 10 mm sur 40% des surfaces < 20 mm pour tous segments de 50 m	.Règle 1,8 ou 3,0 m .Relevés Laser
	.Confort au roulement, IRI: < 2,5 m/km sur 40% des surfaces < 3,0 pour tous segments de 50 m	.Profilomètre
	.Adhérence (SN ou CFT): > 30 (SN)	.Remorque a roue bloquée (locked wheel skid tester)
	.Texture (PMT) > 0,60 mm	.Tache de sable .Rugolaser
	.Défauts de surface (indices de détérioration ou qualité, DI/PQI) absence de nids de poule, pelades, arrachements, . Seuil de fissurations transversales	.Relevés vidéos, photos
Structurales / Longévités	.Absence de faiblesse structurale, fissurations .Capacité structurale effective, Sneff. .Renforcement Maximal, ex. 50 mm	.Relevés photos .Déflexion .Déflectomètre a masse tombante FWD .Instrumentation de la chaussée



STATIONS INSTRUMENTÉES / IN-SITU

ROUTES INTELLIGENTES INSTRUMENTÉES



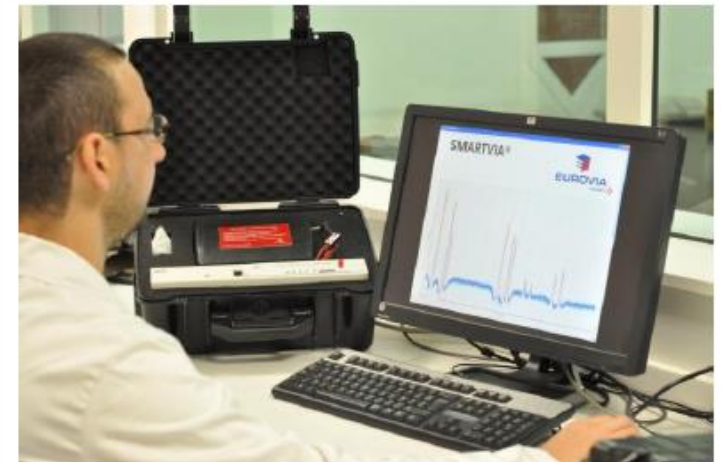
- SMARTVIA[®] PERMET D'ÉQUIPÉES LES INFRASTRUCTURES DE CHAUSSÉES PAR AJOUT DE CAPTEURS QUI PERMETTRE DE SUIVRE LEURS ÉVOLUTIONS MÉCANIQUES EN CONTINUES;
- SMARTVIA[®] EST CONCU POUR :
 - Monitoring de Infrastructures : Analyses Mécaniques et Thermiques
 - Permet un suivit des infrastructures de transport:
 - ≡ Directeurs de réseaux et concessions, Clientèles Professionnelles
 - Support a l'innovation :
 - ≡ Mesures des performances en continues sur les sites expérimentaux

Instrumentations de chaussée / Suivis mécanistiques

- 1^{er} site expérimental en 2010 en France (près de Paris).
- Construction complète d'une chaussée avec 3 couches d'enrobés pour un total de 24 cm d'enrobés bitumineux.
- Installation de l'instrumentation durant la construction, sans impact sur l'avancement des travaux grâce a une planification coordonnée.
- Station consistant a l'installation de 24 jauges de déformations, 16 jauges de température, 2 capteurs piezoélectrique



Picture – Setup of strain sensor in situ



Picture – Analysis software – view of strain sensors

Instrumentations de chaussée / Suivis mécanistiques

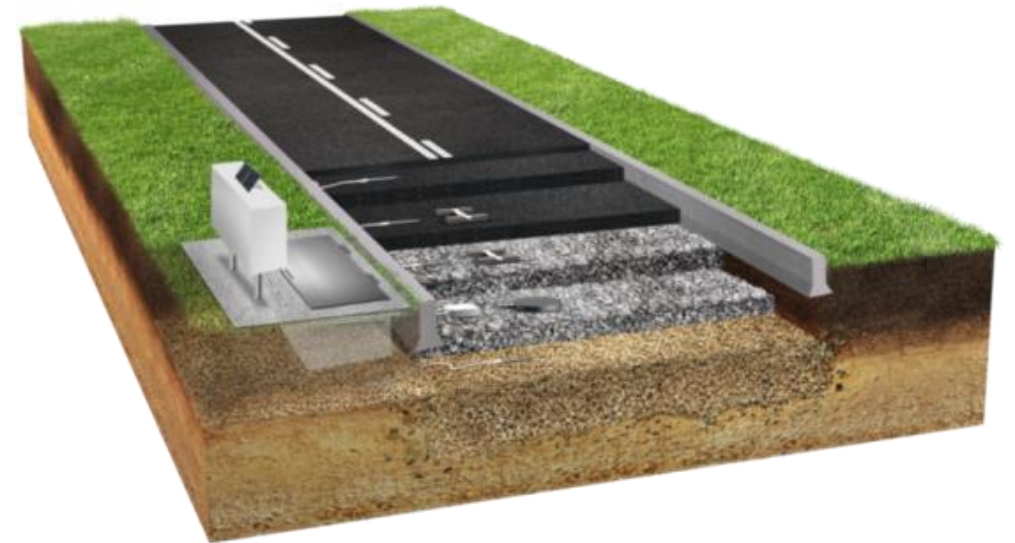
■ Smartvia[®]-cryo

- ▶ Acquisition de données de température en profondeur
- ▶ Profil thermique plus précis pour les hypothèses de conception des structures de chaussées
- ▶ Mesure profondeur du gel



■ Smartvia[®]

- ▶ Monitoring du comportement mécanique, jauge de déformations
- ▶ Validation des hypothèses de conception
- ▶ Compare comportement mécanique entre l'hiver et l'été (-40°C => +35 °C)



Instrumentations de chaussée / Suivis mécanistiques

Smartvia®



Capteurs



Système d'acquisition de données



Serveur Eurovia

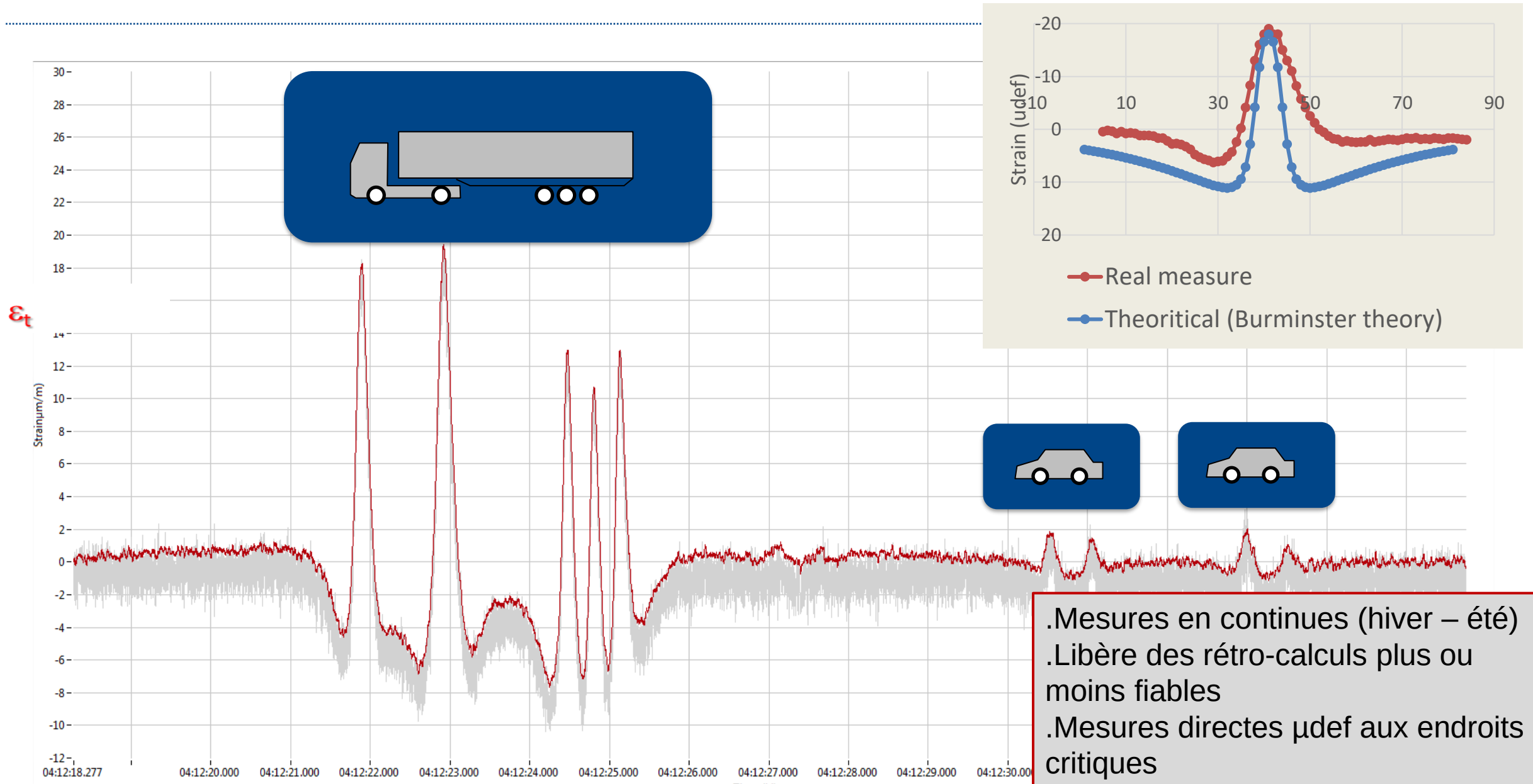


Traitement des données

Instrumentations de chaussée / Suivis mécanistiques



INSTRUMENTATIONS DE CHAUSSÉE / SUIVIS MÉCANISTIQUES



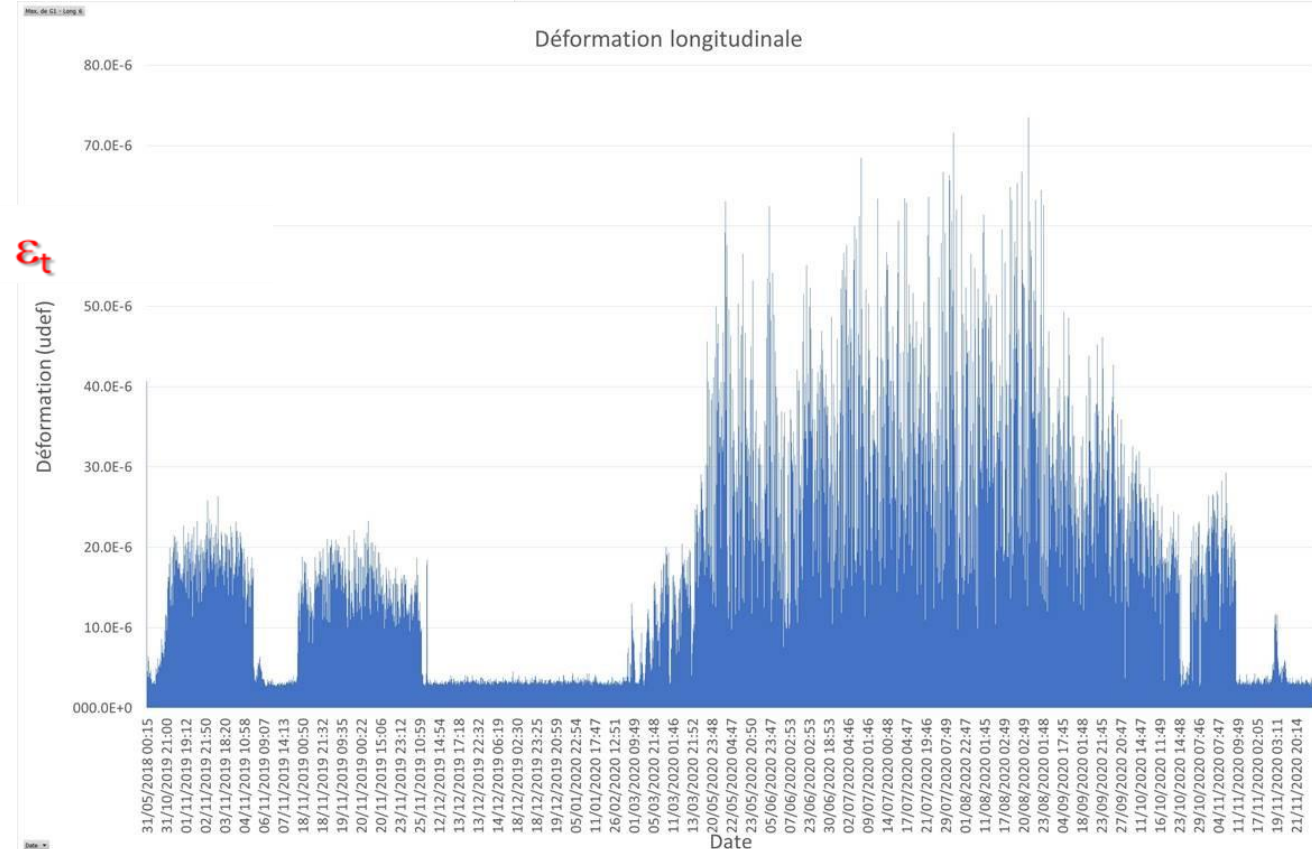
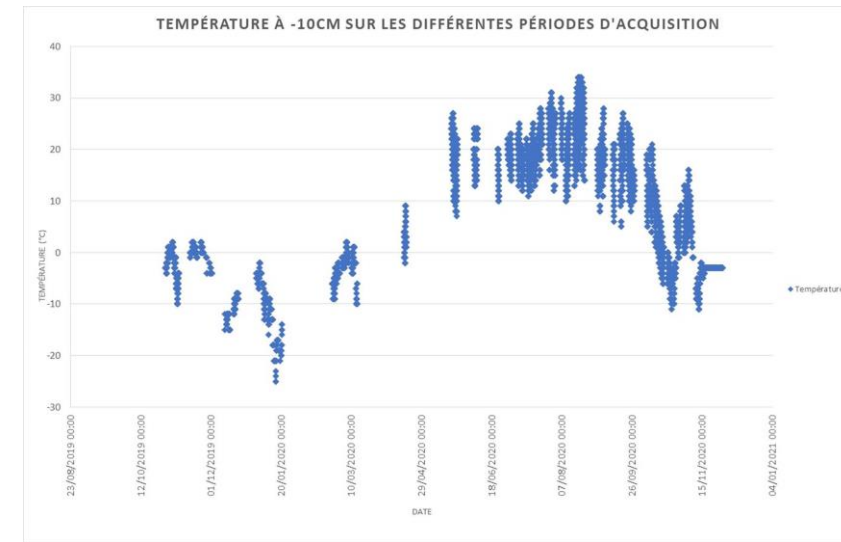
INSTRUMENTATIONS DE CHAUSSÉE / SUIVIS MÉCANISTIQUES

■ Observations station Régina Bypass

- ▶ Les valeurs maximales de déformations atteignent environ 70 μdef pendant la période la plus chaude de l'année, pour $\pm 30^\circ\text{C}$ (-10 cm)
- ▶ Le Modulovia 4X travail en compression environ 3 mois dans l'année
- ▶ A partir de -2°C , il n'y a plus de déformation en traction
- ▶ Températures de -25 à 30°C

■ Stratégie de traitement

- ▶ Mesure du maximum de déformation longitudinal journalière pour chaque passage (sur 1 des 6 capteurs) avec balayage de 25 cm
- ▶ Analyse de 20 600 passages
- ▶ Déformation long. moyenne, $\pm 10 \mu\text{def}$



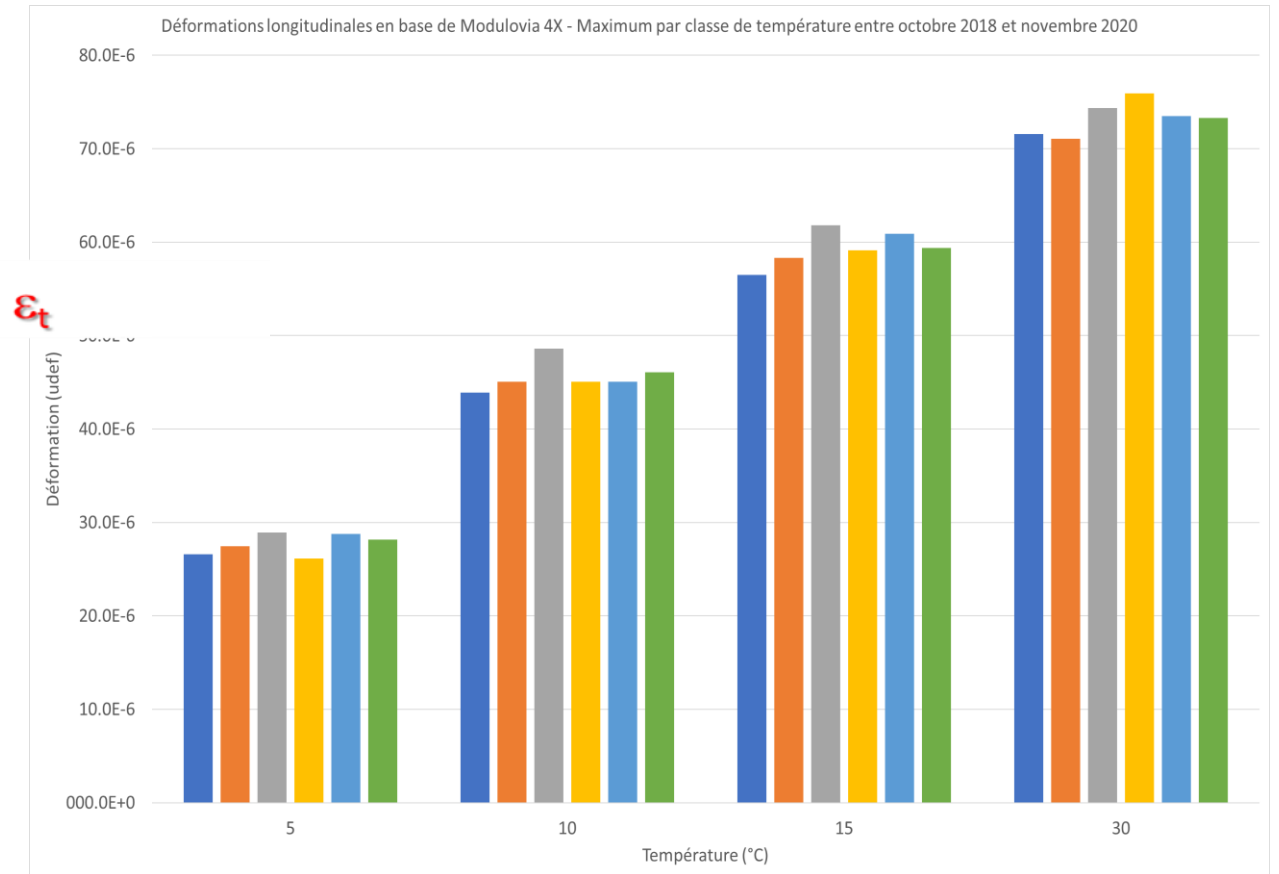
INSTRUMENTATIONS DE CHAUSSÉE / SUIVIS MÉCANISTIQUES

■ Stratégie de traitement

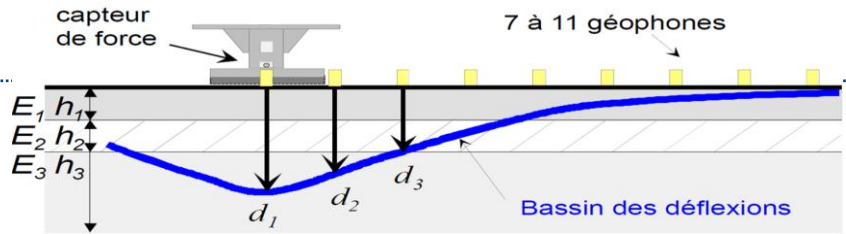
- ▶ Agrégation des maximums des 6 mesures de déformations longitudinales par plages de températures (5°C, 10°C, 15°C et 30°C)

■ Description

- ▶ Très bonne reproductibilité entre les 6 capteurs de déformation
- ▶ La déformation du Modulovia atteint :
 - 30 udef à 5°C
 - 45 udef à 10°C
 - 60 udef à 15°C
 - 75 udef à 30°C

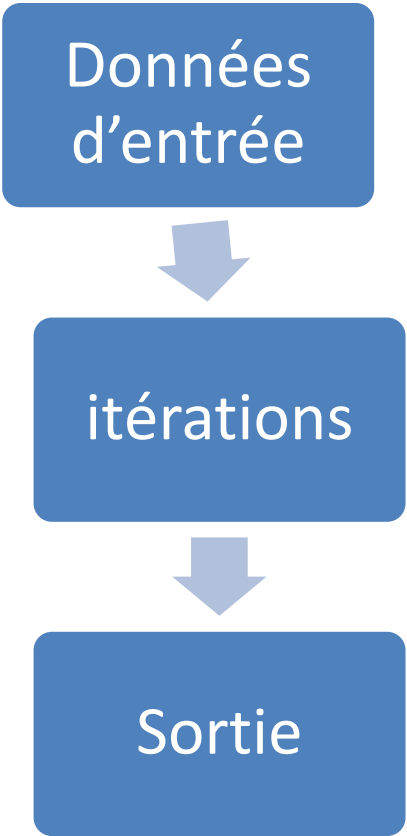
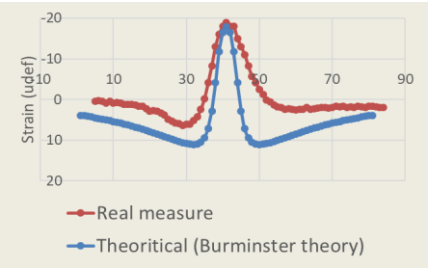


RÉTRO-CALCULS – COMPARAISON DES TRAITEMENTS

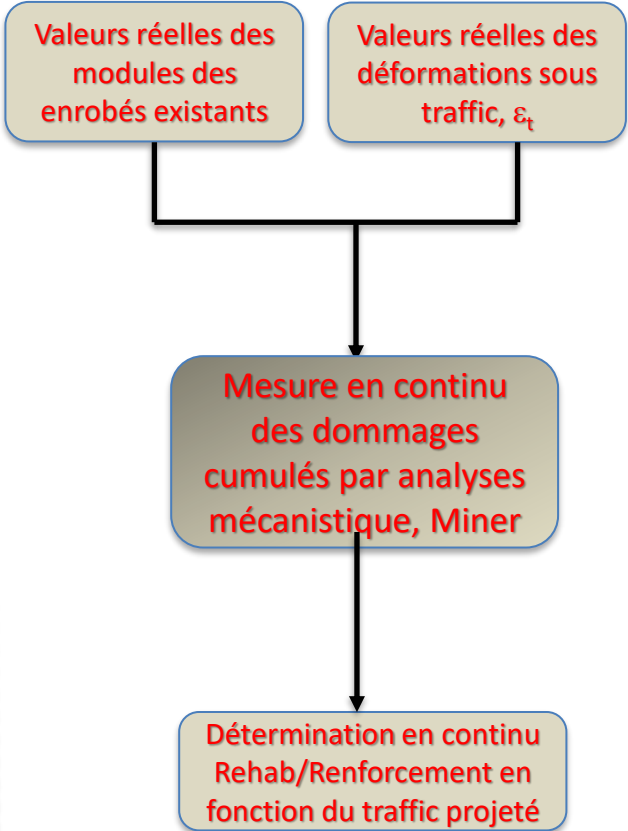
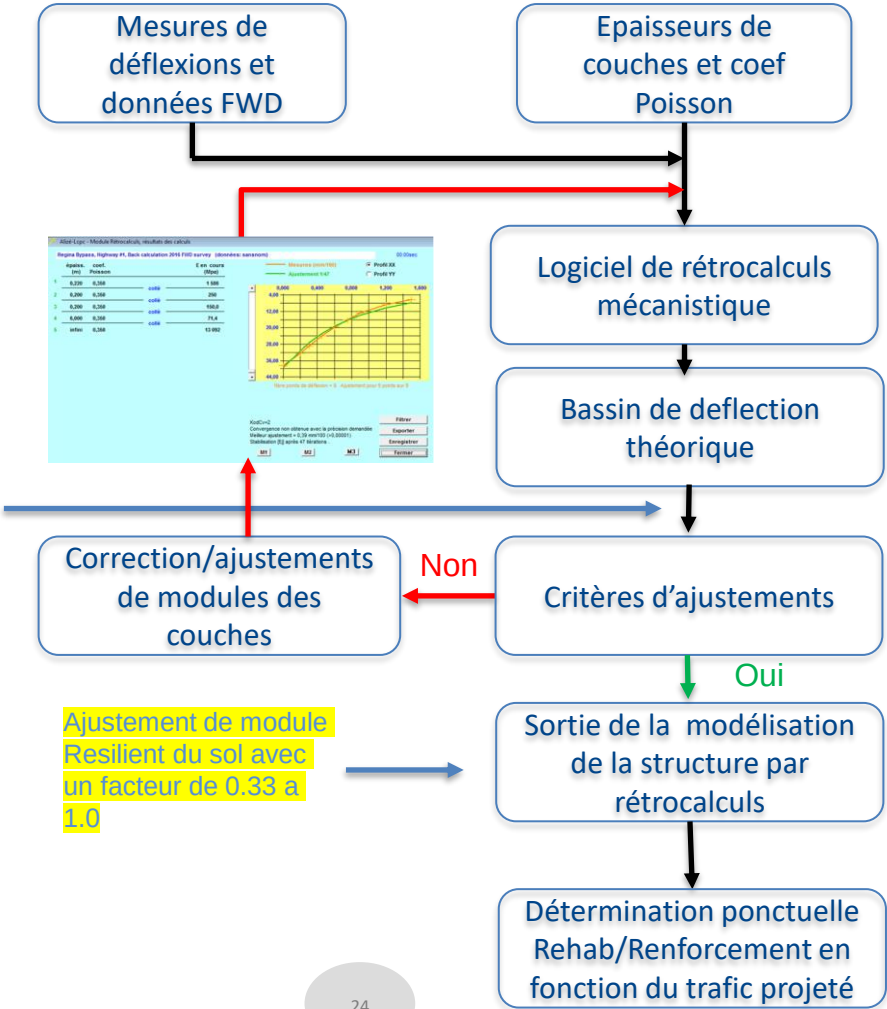


Relevés FWD

Instrumentations
en place



Comparaison des déflexions théoriques/mesurées



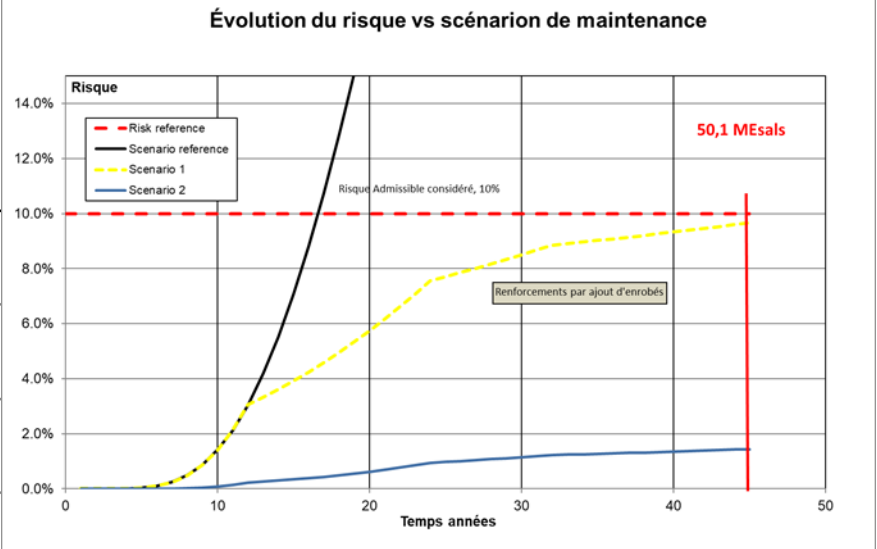
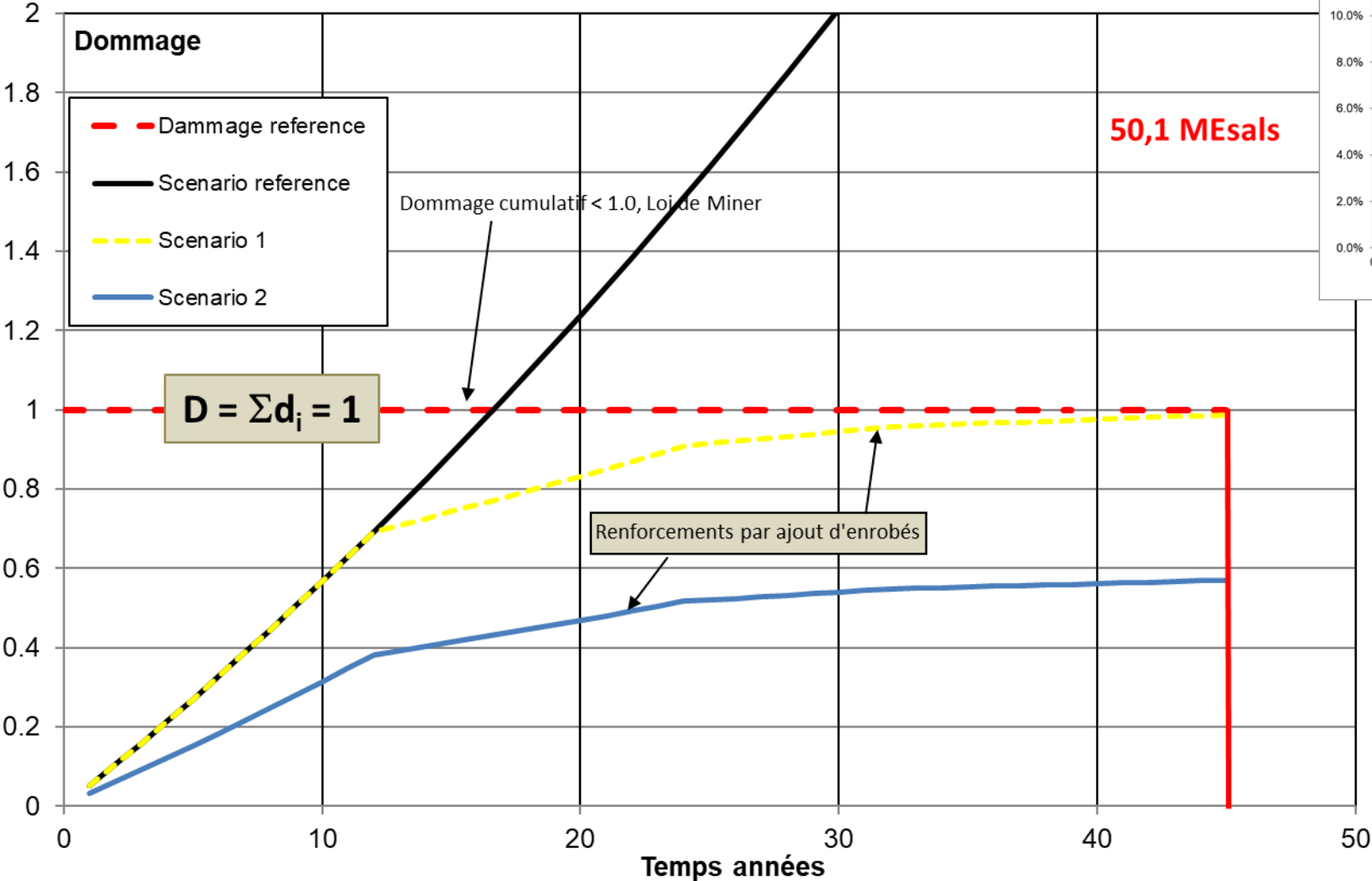


STRATÉGIE DE MAINTENANCES ET RENFORCEMENTS

Matériaux		Épaisseur carottage mm	Calculs Initiaux	Mesures Smartvia et relevés initiaux	
			Déflexion 63,6 mm/100	Déflexion 30 mm/100	
Enrobés	Couche de Roulement	50			
	Couche Intermédiaire	60			
	Couche de Base	--	Et 62,1 µdef	Et 40 µdef	
	Fondation sup. 0-20 mm	200	Ez 134,8 µdef E = 300 Mpa	Proctor Modifié: 2 244 kg/m³ Compacité = 100,6%	
			Ez 149,2 µdef E = 150 Mpa		
	Sous-Fondation	500	Ev2 = 15 MPa	Plateforme	Module Essai de plaque Ev2 = 46 MPa Ev2/Ev1 = 2,26
	Remblais Rasant de 300 @ 1 000 mm	300 @ 1 000	Ez 237.7 µdef	Argile locale compactée	
Enrobés Bitumineux	Bitume	Module de Rigidité, 10 Hz, MPa			Résistance en Fatigue
		5,0°C	10,0°C	15,0°C	10°C, 10 Hz
Couche de Roulement	PG 64E-28	10 092	8 650	5 592	
Couche Intermédiaire	Viaflex M	17 875	16 409	12 486	145
Couche de Base	Viaflex M				

CALCULS DE DIMENSIONNEMENT, CALCUL DE L'ENDOMMAGEMENT

Exemple d'analyses de dommage cumulatif vs scénarios de maintenance





**CENTRE TECHNIQUE
AMÉRIQUES**

**Nous ouvrons la voie aux idées
neuves**