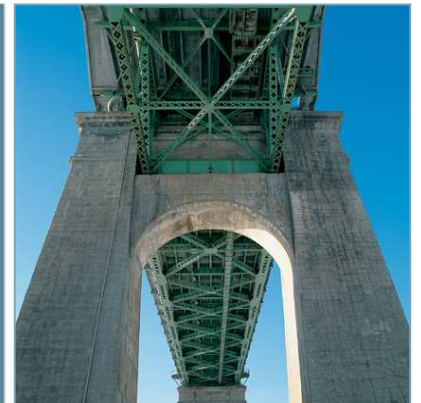




NOUS VEILLONS



WE CARE





BITUME QUÉBEC

Méthodes et techniques d'évaluation des chaussées existantes et établissement des diagnostics de réfection – Cas types

Présentée par :

Louis D'Amours, ing., M.Sc.A.

Vice-président

Groupe Qualitas inc.



ÉTUDE DE RÉHABILITATION TECHNIQUES D'ÉVALUATION ET DIAGNOSTICS

Groupe Qualitas inc.

TABLES DES MATIÈRES

- 1) Introduction**
- 2) Conception de chaussée – Quelques notions**
- 3) Outils et techniques d'évaluation**
- 4) Méthodologie pour les études de réhabilitation**
- 5) Étude de cas**
- 6) Conclusion**



INTRODUCTION

- ◆ **Chaussée flexible**
- ◆ ~~Cas types~~ → **La vraie vie**

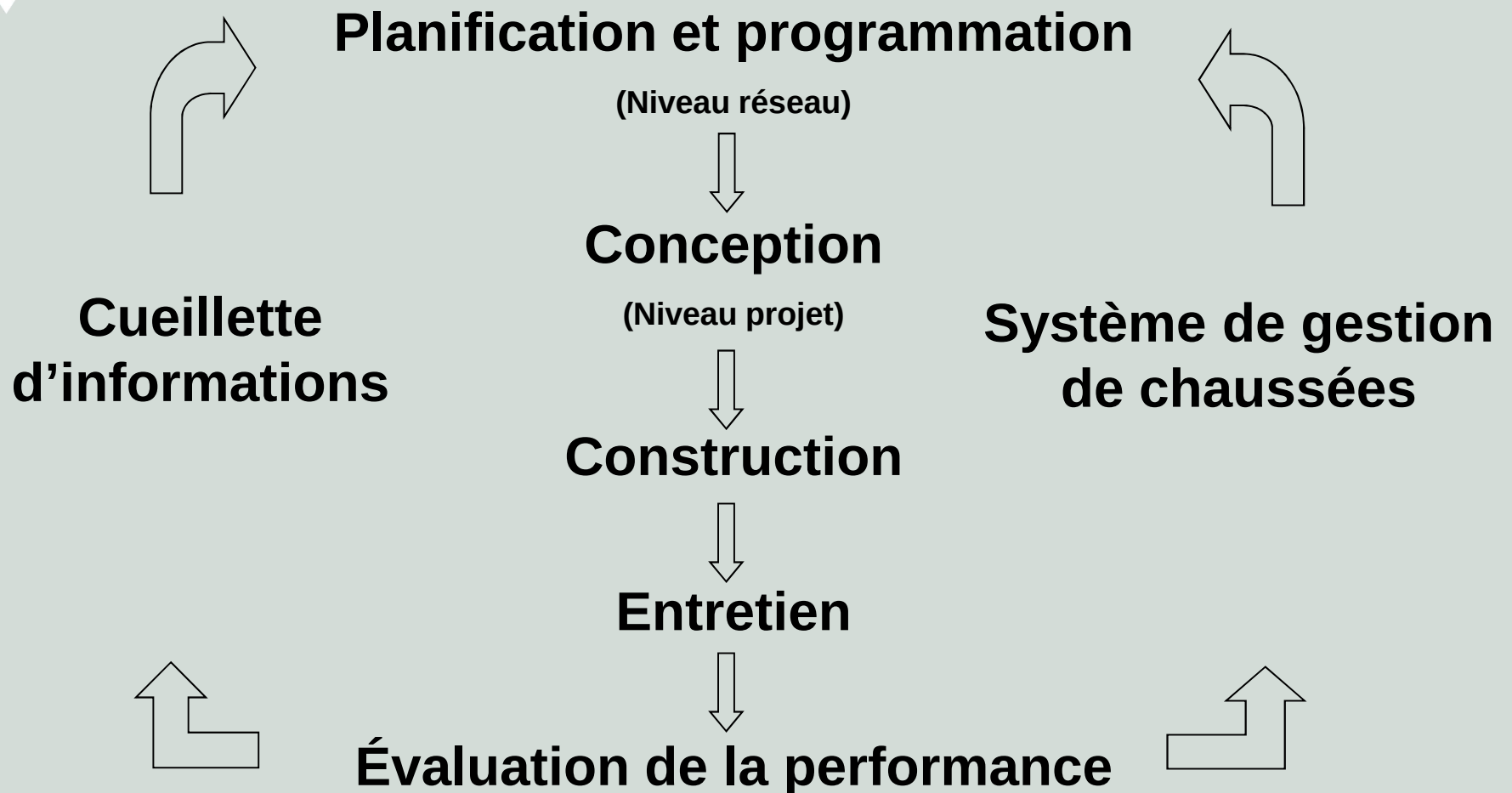
Nécessite du jugement d'ingénieur

, avec rigueur

, avec approche statistique



CYCLE DE VIE D'UNE CHAUSSÉE



INTRODUCTION

NIVEAU RÉSEAU



ÉTUDE GLOBALE



**PLAN DIRECTEUR
PRIORITÉS ET BESOIN
D'ENTRETIEN**

NIVEAU PROJET



ÉTUDE DÉTAILLÉE



**DESIGN ET TECHNIQUES
DE RÉHABILITATION**



CONCEPTION DE CHAUSSÉES

QUELQUES NOTIONS TECHNIQUES – 3 VOLETS

- ◆ **Capacité structurale**
- ◆ **Protection contre le gel**
- ◆ **La qualité des matériaux**



CONCEPTION DE CHAUSSÉES

QUALITÉ DES MATÉRIAUX

- ◆ **Nouvelle chaussée → À travers le devis et le contrôle de la qualité**
- ◆ **Ancienne chaussée → Étude de réhabilitation permet d'évaluer :**
 - Portance
 - Durabilité
 - Drainabilité
 - Susceptibilité au gel



CONCEPTION DE CHAUSSEES

LA PROBLÉMATIQUE RENCONTRÉE

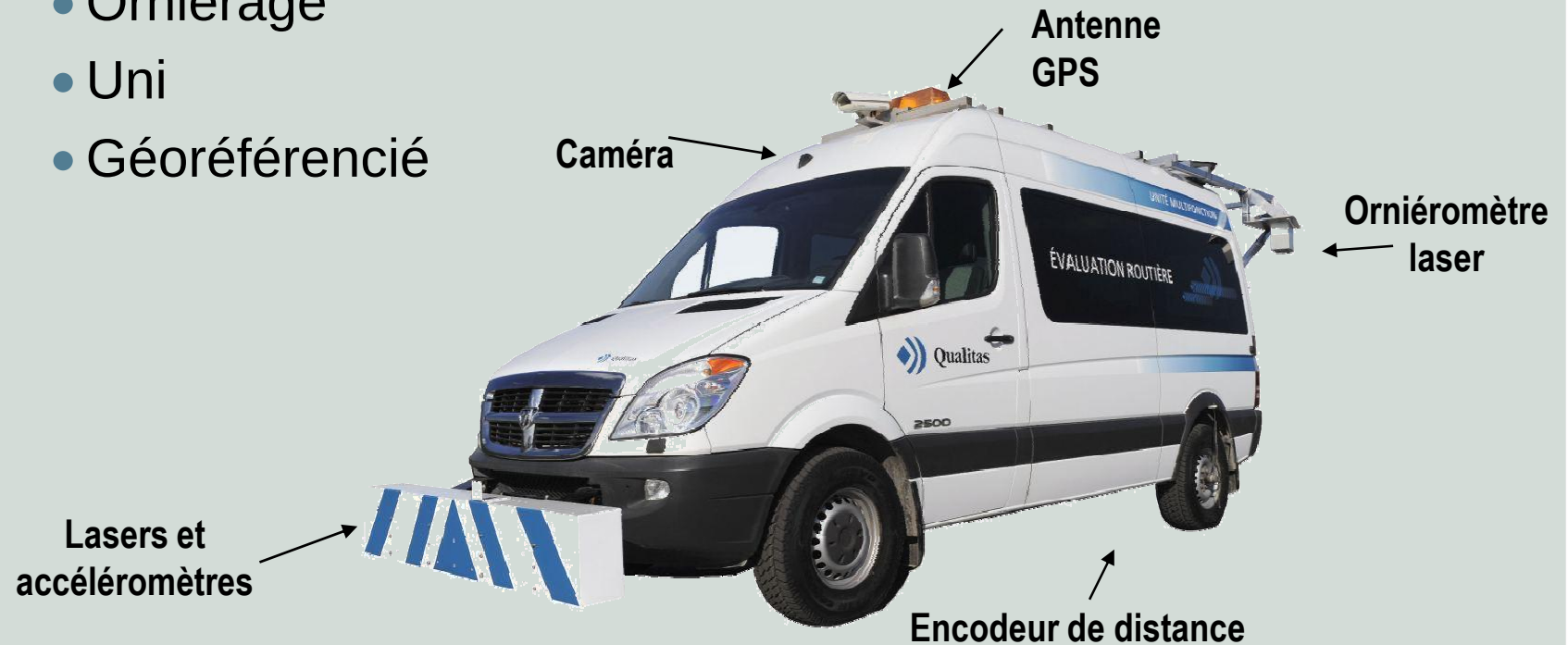
- ◆ **Matériaux limitrophes**
- ◆ **Variabilité des matériaux**
- ◆ **Protection contre le gel → faible**
- ◆ **Environnement existant : - urbain
- rural**



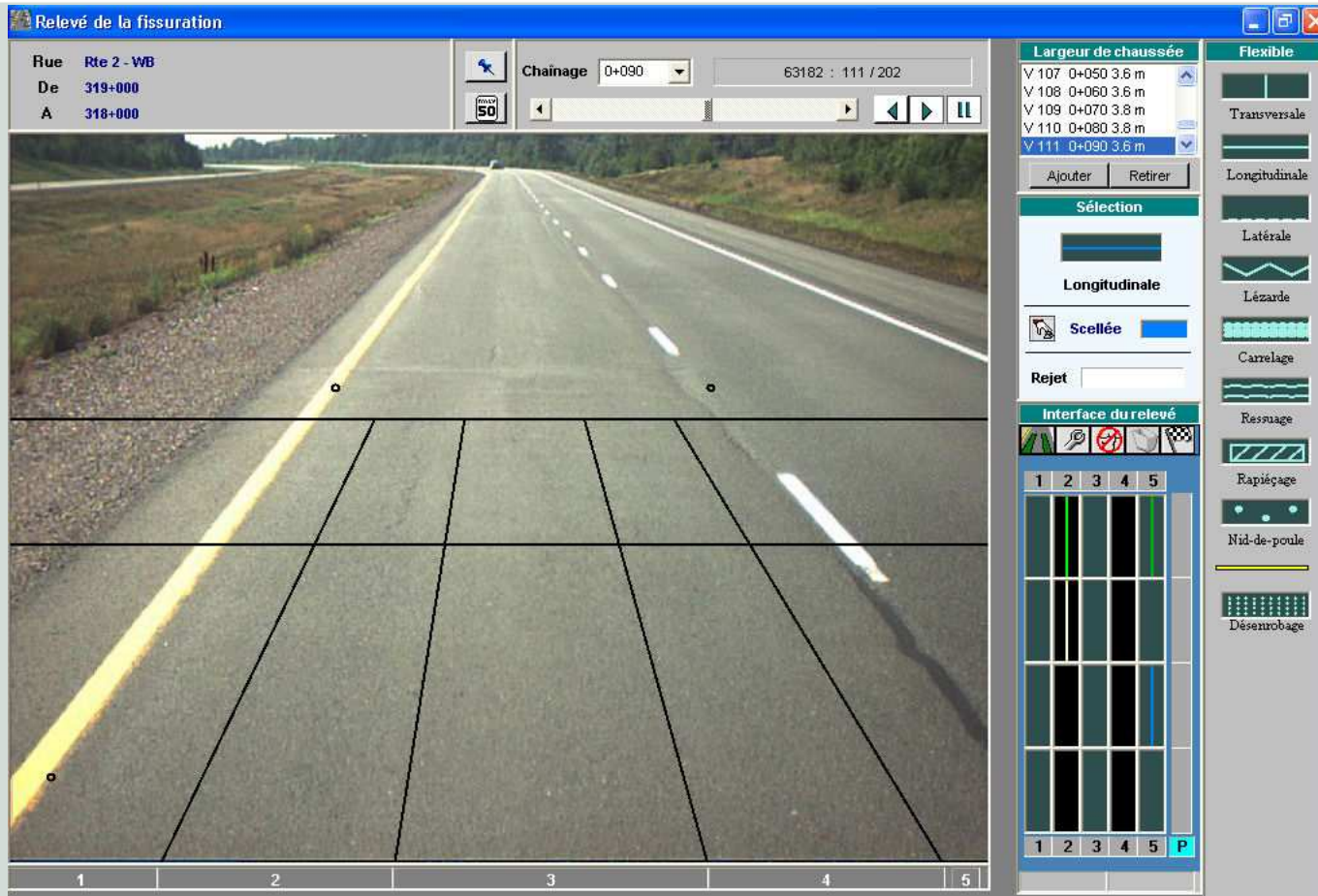
OUTILS D'AUSCULTATION DE CHAUSSÉES

◆ Véhicule multifonction (niveau réseau)

- Dégradation
- Orniérage
- Uni
- Géoréférencié



RELEVÉ DE LA FISSURATION

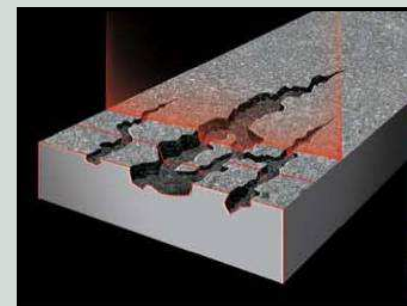
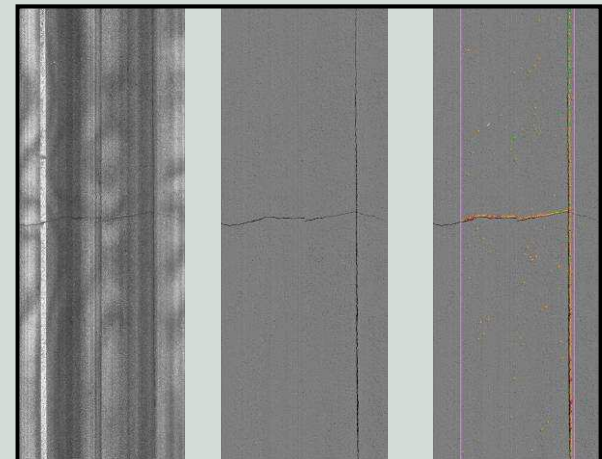


AASHTO – PP44-01 – Standard Practice for Quantifying Cracks in Pavement Surface.



RELEVÉ DE LA FISSURATION

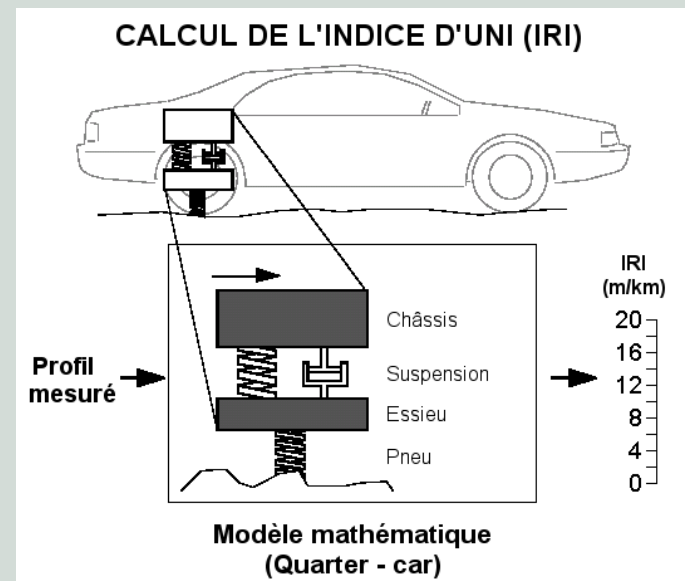
SYSTÈME LASER DE MESURE DES FISSURES (LCMS)



CONFORT AU ROULEMENT

Mesure du pseudo-profil et calcul de l'indice IRI

Norme ASTM-E950-94 Classe 1



CONFORT AU ROULEMENT

AUTOROUTES IRI (m/km)	QUALITÉ DE ROULEMENT	URBAIN IRI (m/km)
< 1,10	Très bon	0 – 4,7
1,11 – 1,60	Bon	4,7 – 7,0
1,61 – 2,50	Passable	7,0 – 8,8
2,51 – 3,50	Mauvais	8,8 – 10,5
> 3,50	Très mauvais	> 10,5



CONFORT AU ROULEMENT

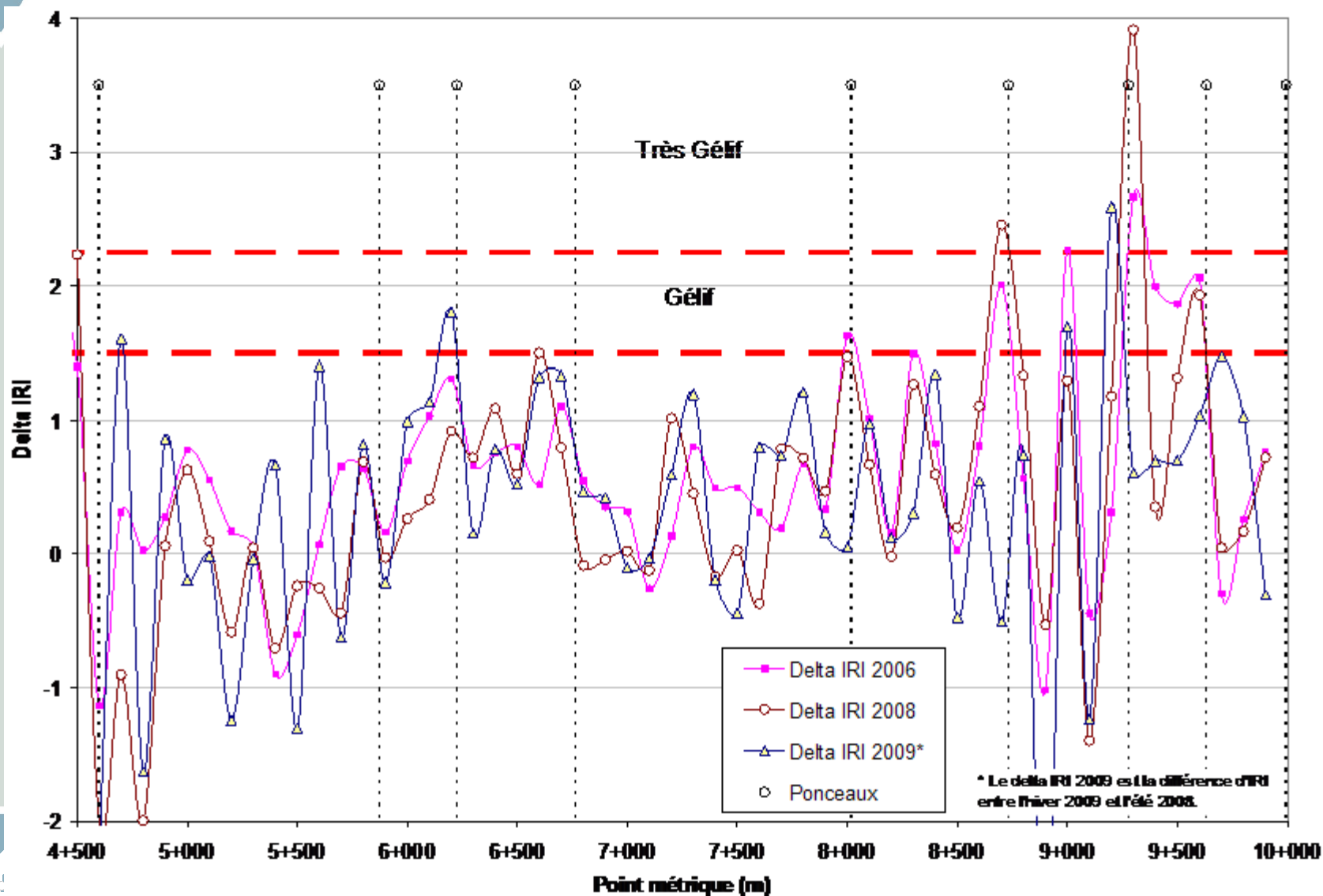
◆ Le comportement de la chaussée en hiver

- Relevé d'uni été et hiver
→ Delta IRI en fonction classe de la route

	Autoroute (100 km/h)	Nationale (90 km/h)	Régional et collectrice (50 à 80 km/h)
Gélif	> 1,1	> 1,25	> 1,5
Très gélif	> 1,75	> 2,0	> 2,25



CONFORT AU ROULEMENT



ORNIÉRAGE

◆ Mesure du profil transversal

- Pleine largeur d'une voie (4 mètres – 1 280 points)
- Précision : ± 1 millimètre
- Saisie séquentielle – 10 mètres



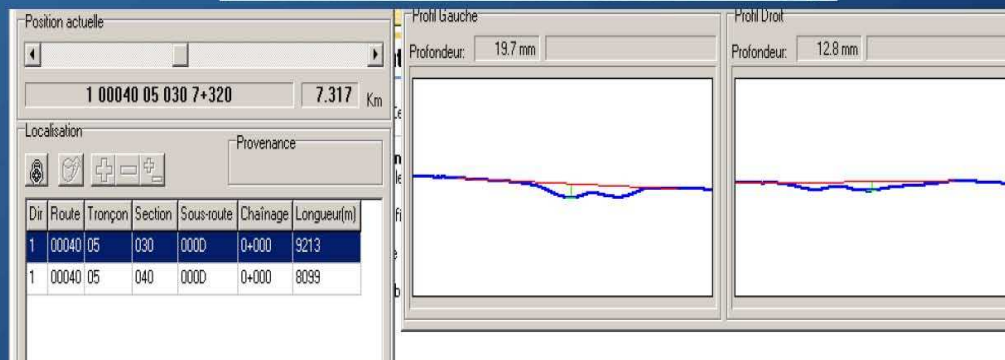
ORNIÉRAGE

Profondeur (mm)	Sévérité
0 – 4	Aucune
5 – 9	Faible
10 – 19	Moyenne
≥ 20	Majeure



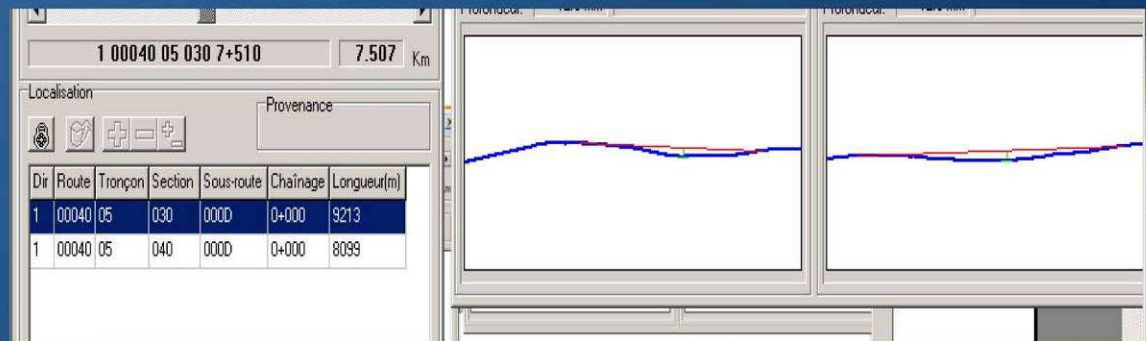
ORNIÉRAGE

Ornières à faible rayon multiple



ORNIÉRAGE

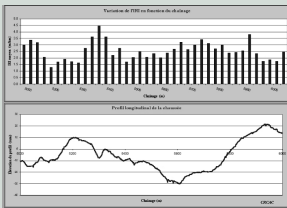
Ornières à grand rayon



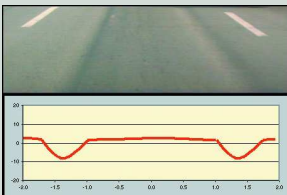
CONDITION DES CHAUSSÉES



Relevé des dégradations
IDS (indice de surface)



Relevé du confort au roulement
IDR (indice d'uni)



Orniérage

Indice	Qualité
80 – 100	Très bon
60 – 79	Bon
40 – 59	Passable
20 – 39	Mauvais
0 – 19	Très mauvais



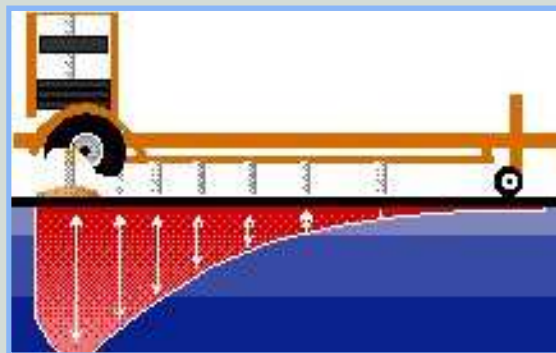
INDICE DE PERFORMANCE (IPC : 0-100) - NIVEAU DE SERVICE



OUTILS D'AUSCULATION DE CHAUSSÉES

◆ Déflectomètre à masse tombante (FWD) (Niveau projet)

- Capacité structurale
- Durée de vie résiduelle
- Besoin de renforcement
- Module résilient des couches



OUTILS D'AUSCULTATION DE CHAUSSÉES

◆ Forages (niveau projet)



Échantillonneur à grand diamètre pour chaussée



OUTILS D'AUSCULTATION DE CHAUSSÉES

AUTRES OUTILS

- ◆ Géoradar
- ◆ MASW



OUTILS D'AUSCULTATION DE CHAUSSÉES

AUTRE OUTILS (EN COURS DE CONSTRUCTION)

◆ Déflectomètre portatif (LWD)



◆ Mesure du module résilient in situ

◆ Validation en chantier du design



MÉTHODOLOGIE POUR LES ÉTUDES DE RÉHABILITATION

LES ÉTAPES DE L'ÉTUDE

- 1) Récupérer les données de base utiles
- 2) Réaliser les investigations de terrain
- 3) Analyser les données pour établir un diagnostic
- 4) Choisir la ou les solutions les mieux adaptées



MÉTHODOLOGIE POUR LES ÉTUDES DE RÉHABILITATION

1) Récupérer les données de base utiles

- Les relevés des dégradations et d'uni (été/hiver)
- L'historique de construction et de réhabilitation
- Les comptages incluant le pourcentage de véhicules lourds
- Les parcours et fréquence du trafic
- La planification du développement (résidentiel, commercial ou industriel)



MÉTHODOLOGIE POUR LES ÉTUDES DE RÉHABILITATION

2) Investigations de terrain

Inspection visuelle ou automatisée

- Dossier photographique
- Nature et étendue des dégradations
- Autres observations environnementales (drainage, présence d'usines, autobus, autres particularités)



MÉTHODOLOGIE POUR LES ÉTUDES DE RÉHABILITATION

2) Investigations de terrain (suite)

Évaluation du drainage

- Éléments à observer
 - Venues d'eau par les talus
 - Mauvais captage des eaux de surface



MÉTHODOLOGIE POUR LES ÉTUDES DE RÉHABILITATION

2) Investigations de terrain (suite)

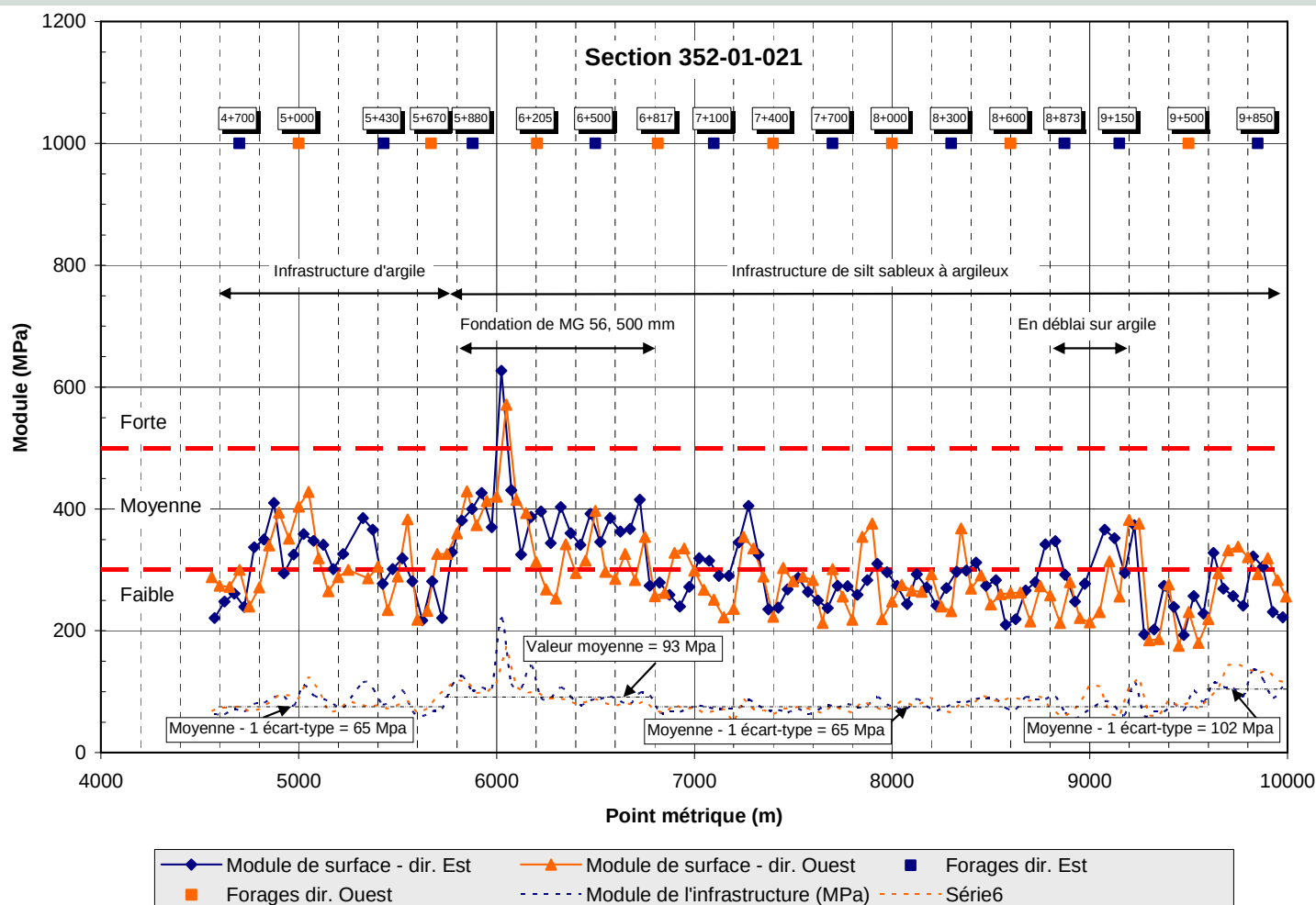
Relevés de la capacité structurale

- Relevés au déflectomètre à masse tombante (FWD)
 - Segmentation en tronçon au comportement uniforme
 - Vérifier l'uniformité de la portance de l'infrastructure
 - Déterminer le module effectif des couches de la structure de chaussée
 - Évaluer les besoins de renforcement
 - Estimer la vie résiduelle de la chaussée



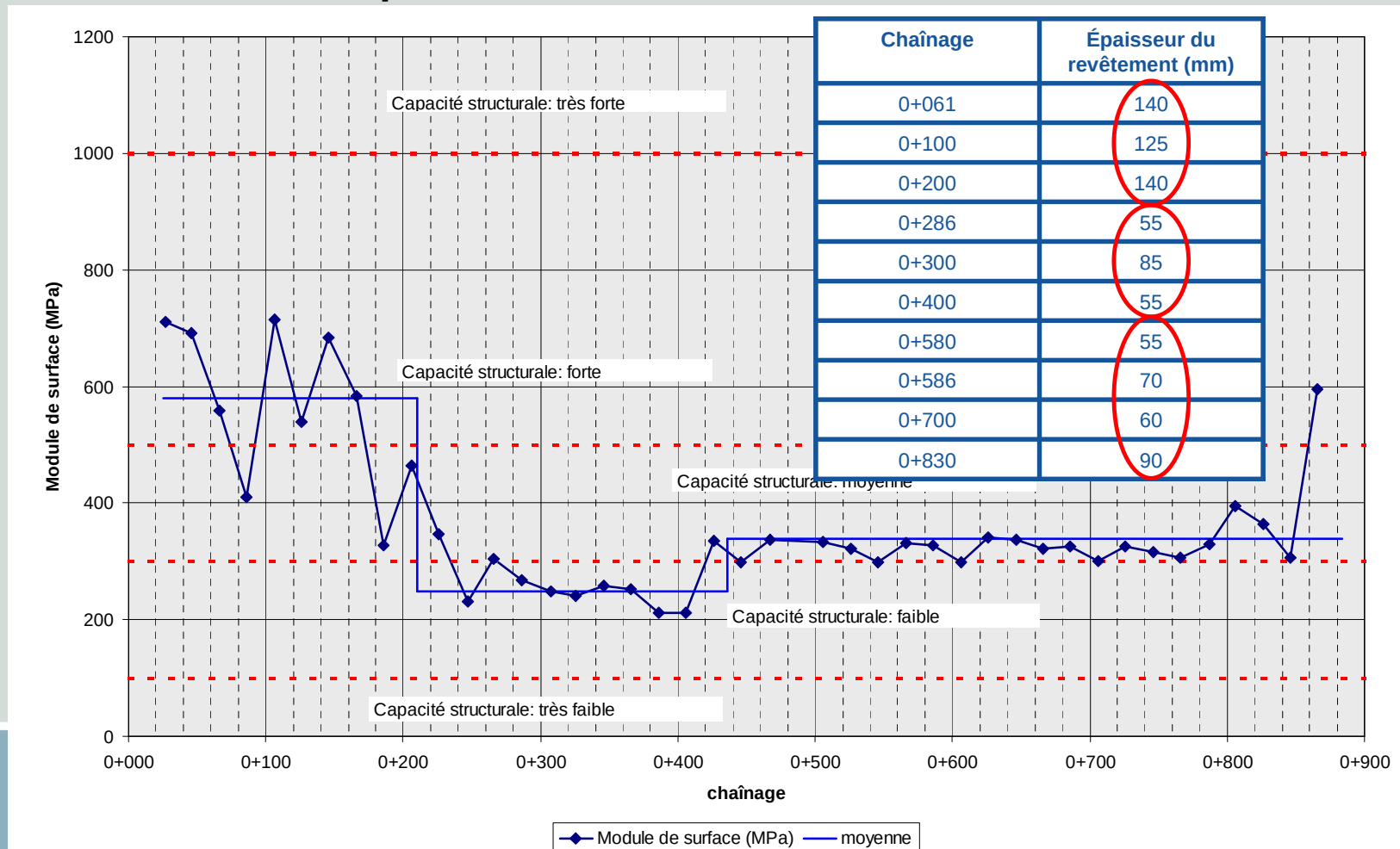
MÉTHODOLOGIE POUR LES ÉTUDES DE RÉHABILITATION

2) Investigations de terrain (suite) Relevés de la capacité structurale



MÉTHODOLOGIE POUR LES ÉTUDES DE RÉHABILITATION

2) Investigations de terrain (suite) Relevés de la capacité structurale



MÉTHODOLOGIE POUR LES ÉTUDES DE RÉHABILITATION

2) Investigations de terrain (suite)

Forages et/ou carottages

ÉTUDE PÉDOLOGIQUE

- ◆ Épaisseur des couches des éléments de la chaussée
- ◆ Profondeur de l'infrastructure

ESSAIS DE LABORATOIRE

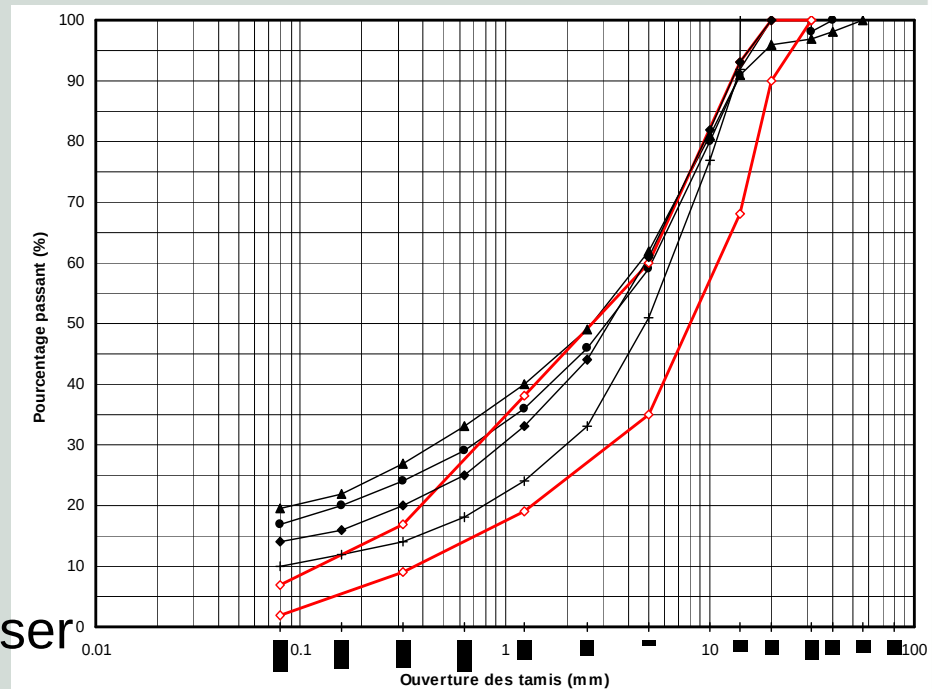
- ◆ Qualité des matériaux existants
- ◆ Drainabilité des matériaux
- ◆ Gélixité des sols



MÉTHODOLOGIE POUR LES ÉTUDES DE RÉHABILITATION

2) Investigations de terrain (suite)

- Essais de laboratoire
 - Analyses granulométriques pour vérifier la conformité aux normes
 - Limites de consistance et teneur en eau sur les sols argileux d'infrastructures pour mieux les caractériser
 - Autres essais au besoin



Analyses granulométriques sur échantillons de matériaux de fondation de type MG20



MÉTHODOLOGIE POUR LES ÉTUDES DE RÉHABILITATION

3) Analyse des données pour établir un diagnostic

Établir un lien de causalité entre les indicateurs d'état et le comportement de la chaussée

Éléments évalués :	Indicateurs :
Comportement	• Nature des sols d'infrastructure (vs gel) • Épaisseur totale de la structure de chaussée • Conformité des matériaux granulaires aux normes • Drainabilité et dégel (perte de portance)
Fatigue des matériaux	• Nature et étendue de la fissuration • Orniérage et âge du revêtement
Capacité structurale	• Portance de l'infrastructure (uniformité et module) • Renforcements nécessaires • Épaisseur des couches de la structure de chaussée



MÉTHODOLOGIE POUR LES ÉTUDES DE RÉHABILITATION

4) Choix de la solution la mieux adaptée

Parmi un éventail de solutions possibles, établir les solutions les plus appropriées dans le but de maximiser le retour sur l'investissement.



**SÉLECTION À PARTIR D'UNE
ANALYSE COÛT-BÉNÉFICE**

**La solution optimale est la solution la moins cher
en \$ d'aujourd'hui qui permettra d'atteindre
sa durée de vie attendue.**



MÉTHODOLOGIE POUR LES ÉTUDES DE RÉHABILITATION

4) Choix de la solution la mieux adaptée

Solutions possibles	Coût unitaire au m ²	Durée de vie attendue*
Recouvrement avec enrobé mince	\$	± 5-7 ans
Planage – revêtement	\$\$	± 8 ans
Thermoregénération	\$\$\$	± 8 ans
Décohésionnement – stabilisation	\$\$\$	± 12 ans
Reconstruction partielle avec grave-bitume	\$\$\$	± 12 ans
Reconstruction complète	\$\$\$\$\$	± 20 ans

* Durée avant que l'état de la chaussée ne soit qualifié de mauvais.
Précision de ± 2 ans en moyenne.



5) ÉTUDE DE CAS – RUE CHARLES EN MONTÉRÉGIE

- ◆ Étude en prévision de sa réfection
- ◆ Environ 1 650 m
- ◆ Rang rural (principalement)
- ◆ 1,4 M Écas (20 ans)



5) ÉTUDE DE CAS

Méthodologie

- ◆ Examen de la chaussée
- ◆ FWD
- ◆ Forages
- ◆ Essais de laboratoire
- ◆ Rapport avec des solutions



5) ÉTUDE DE CAS

Examen des lieux

- ◆ Carrelage



F-7

- ◆ Des fissures longitudinales



F-4



5) ÉTUDE DE CAS

Examen des lieux

- ◆ Des fissures transversales



F-10

- ◆ Des fissures en rive



F-6



5) ÉTUDE DE CAS

Examen des lieux

- ◆ La sévérité des fissures :
de moyenne
- ◆ à majeure



F-10



F-3



5) ÉTUDE DE CAS

Examen des lieux

- ◆ Fissures de type lézarde → mauvais comportement hivernal
- ◆ Ornières importantes à plusieurs endroits



F-8



F-9



5) ÉTUDE DE CAS

Examen des lieux

- ◆ Rapiéçage localisé et des nids-de-poule colmatés

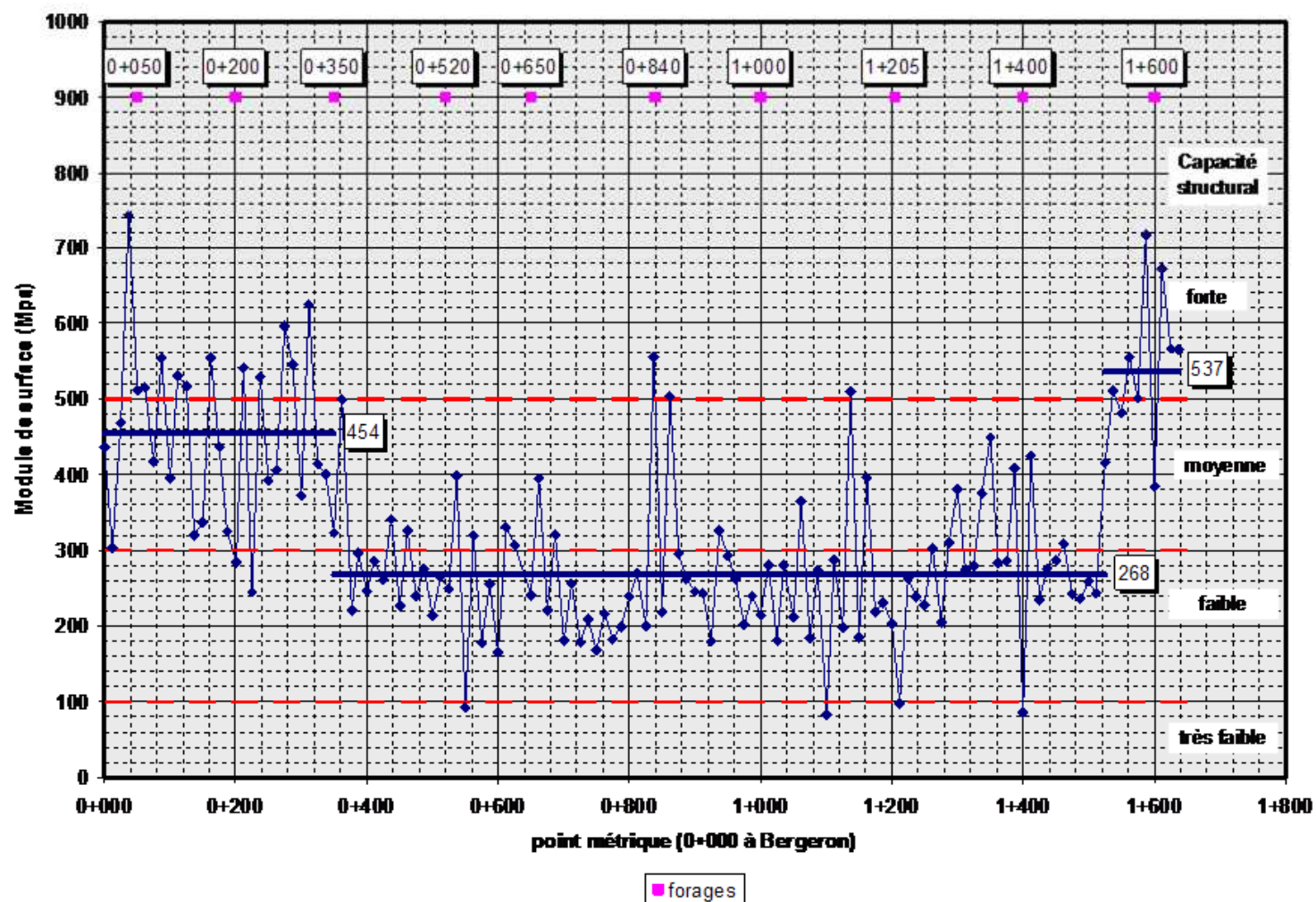


F-6



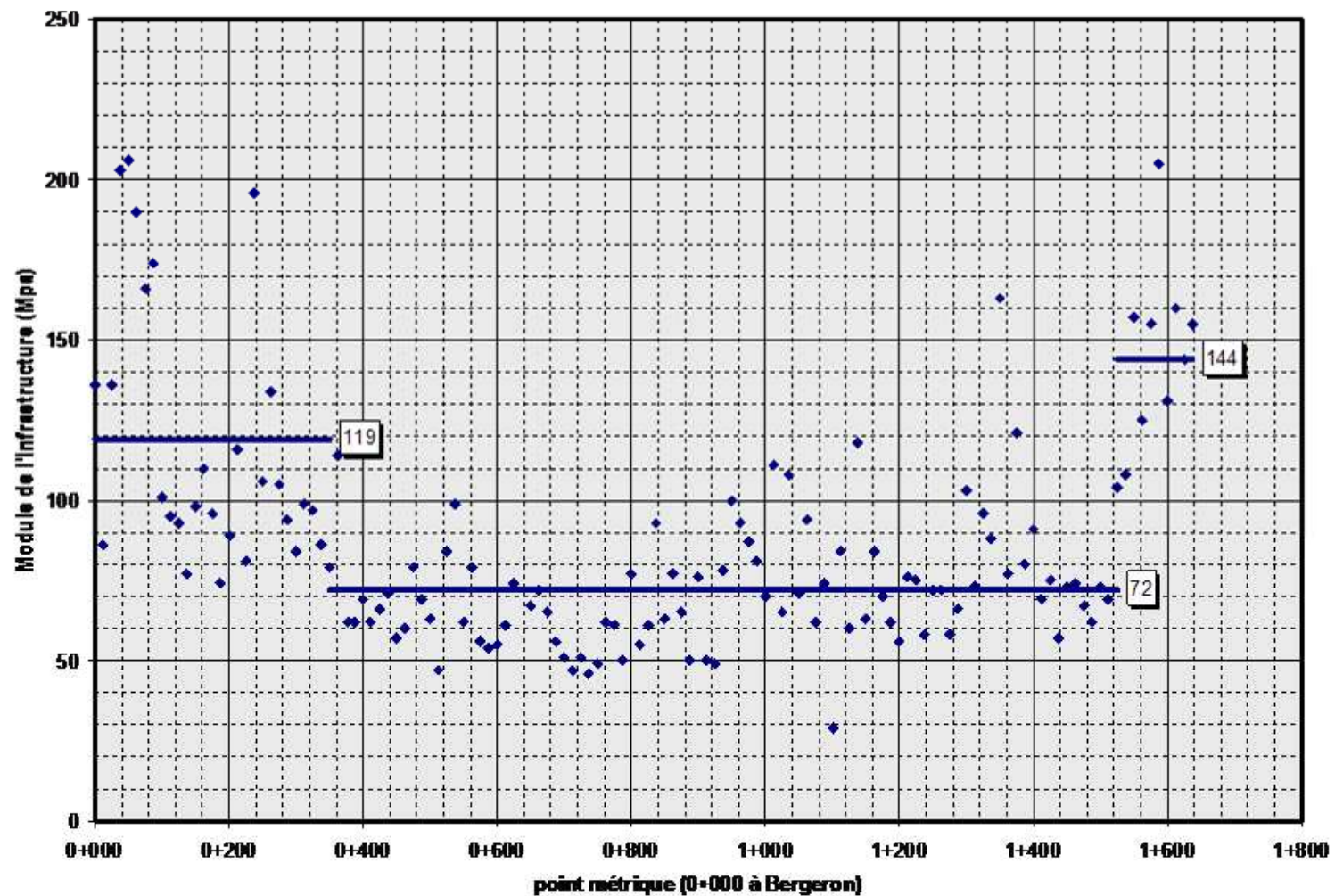
5) ÉTUDE DE CAS

Capacité structurale (module de surface)



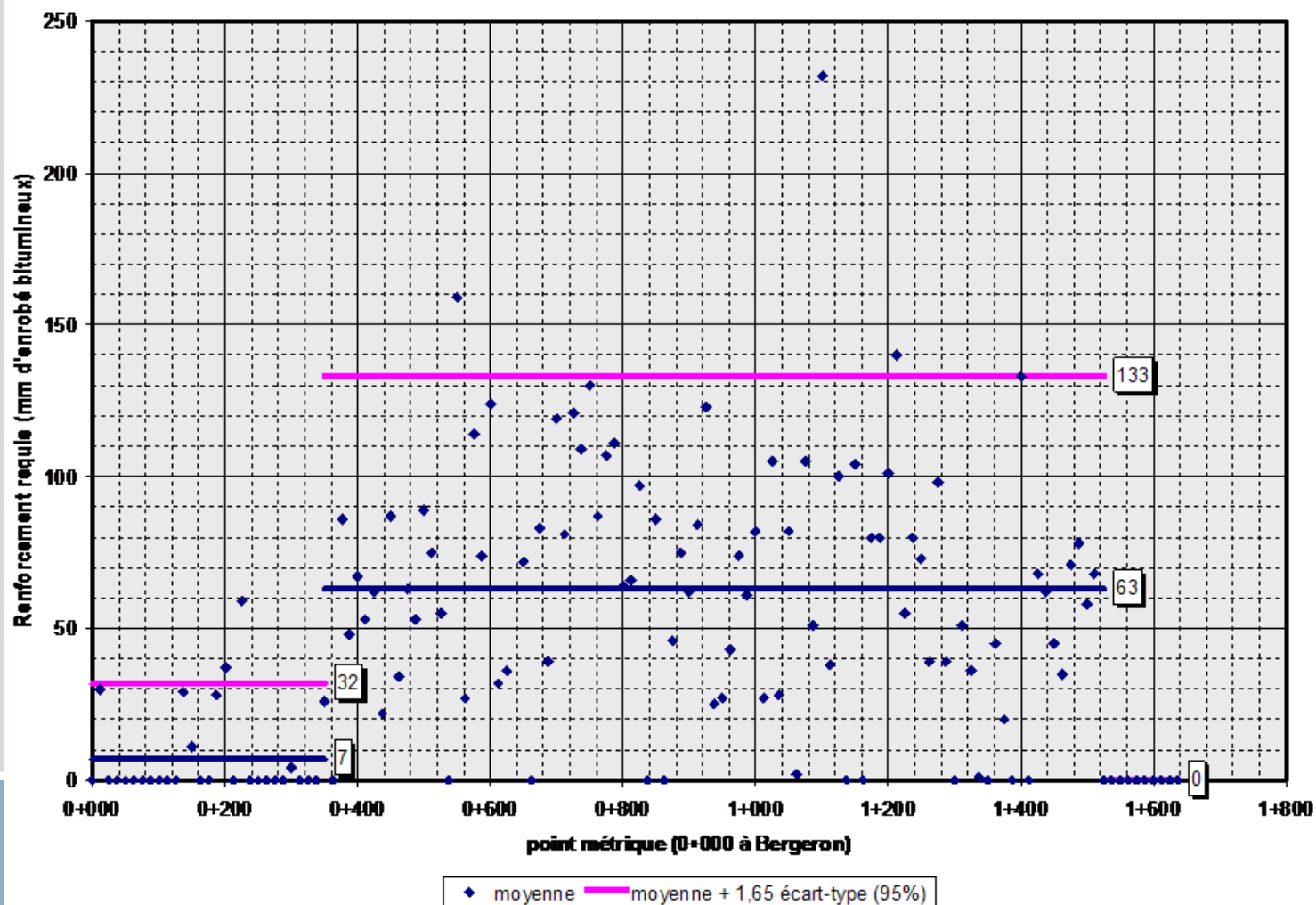
5) ÉTUDE DE CAS

Capacité structurale (module de l'infrastructure)



5) ÉTUDE DE CAS

Capacité structurale (renforcement)



5) ÉTUDE DE CAS

TRAVAUX DE FORAGE STRUCTURE DE CHAUSSEE EXISTANTE

FORAGE	POINT MÉTRIQUE	ÉPAISSEURS			FONDATION GRANULAIRE (% < 80 µm)	INFRASTRUCTURE
		ENROBÉ BITUMINEUX (mm)	FONDATION GRANULAIRE (mm)	TOTALE (mm)		
F-1	0+050	70	500	570	10,3	SM
F-2	0+200	170	400	570	9,8	SM
F-3	0+350	200	280	480	13,4	SM fin
F-4	0+520	110	350	460	8,9	SM fin
F-5	0+650	200	230	430	9,5	SM fin
F-6	0+840	230	330	560	-	SM fin
F-7	1+000	130	490	620	7,2	SM fin
F-8	1+205	190	590	780	7,1	SM fin
F-9	1+400	120	680	800	-	SM
F-10	1+600	170	390	560	5,4	SM
moyenne		159	424	583	-	

: Ne satisfait pas à l'exigence granulométrique d'un MG 20 pour ce tamis.



5) ÉTUDE DE CAS

Travaux de forage

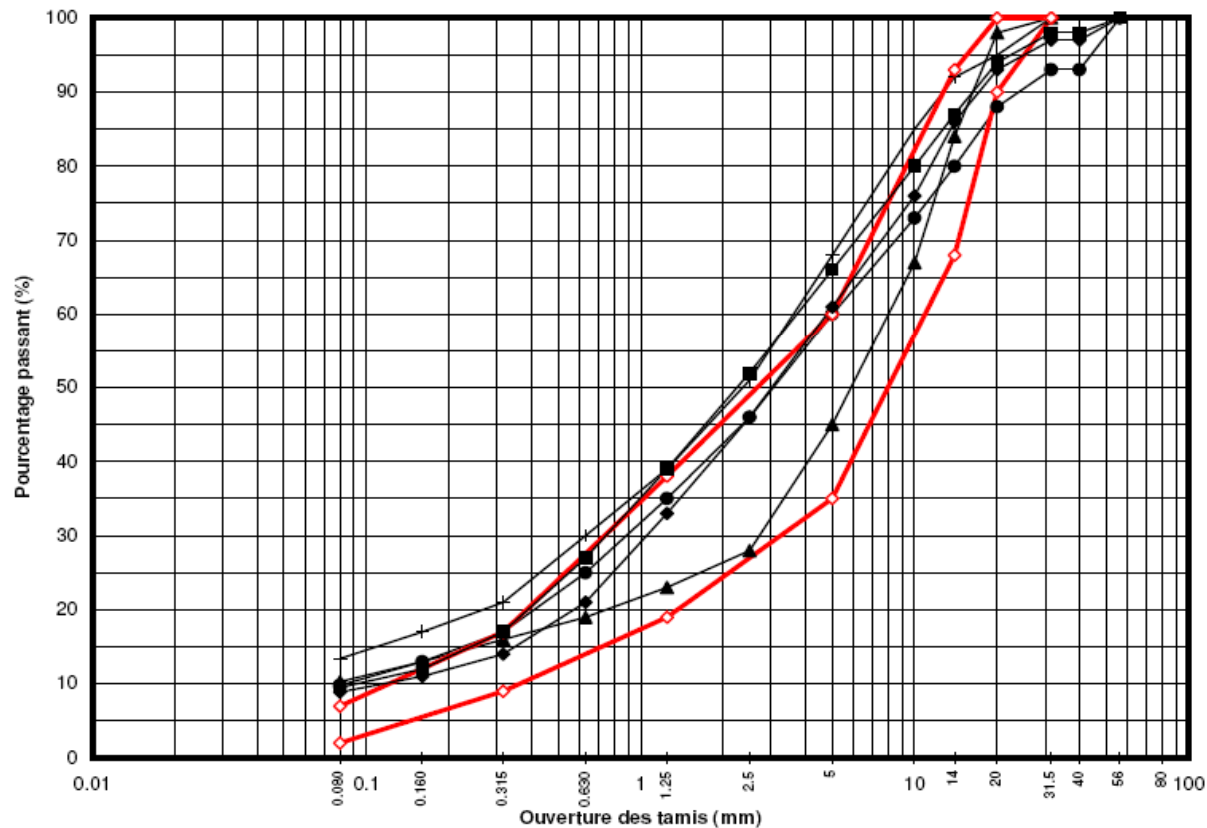
◆ Infrastructure

- Sable et silt avec traces de gravier à sable graveleux et silteux
- SM fin à SM



5) ÉTUDE DE CAS

Essais de laboratoire (MG-20)

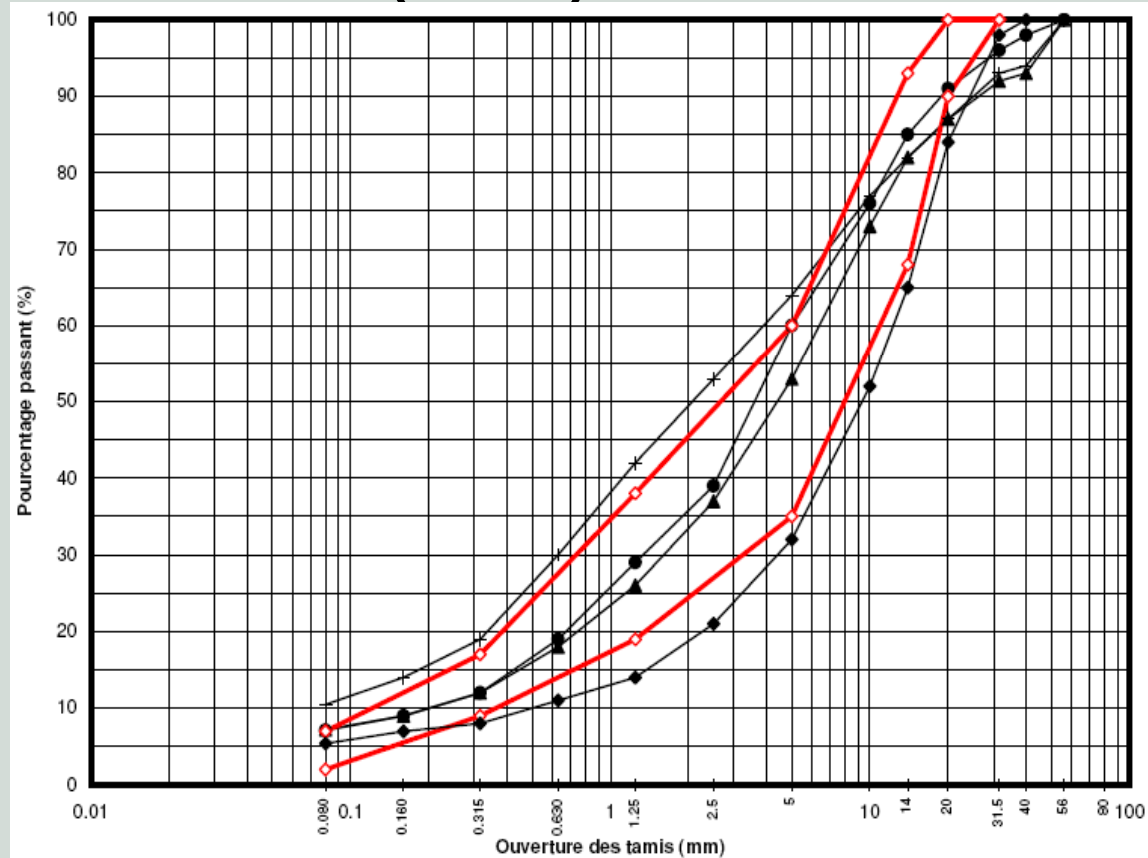


Symb.	Sondage no.	Echan. no.	Gravier (%)	Sable (%)	Silt et argile (%)
▲	F-1	CG-1a	55	35	10.3
●	F-2	CG-1a	40	50	9.8
+	F-3	CG-1a	32	55	13.4
◆	F-4	CG-1a	39	52	8.9
■	F-5	CG-1a	34	57	9.5



5) ÉTUDE DE CAS

Essais de laboratoire (MG-20)

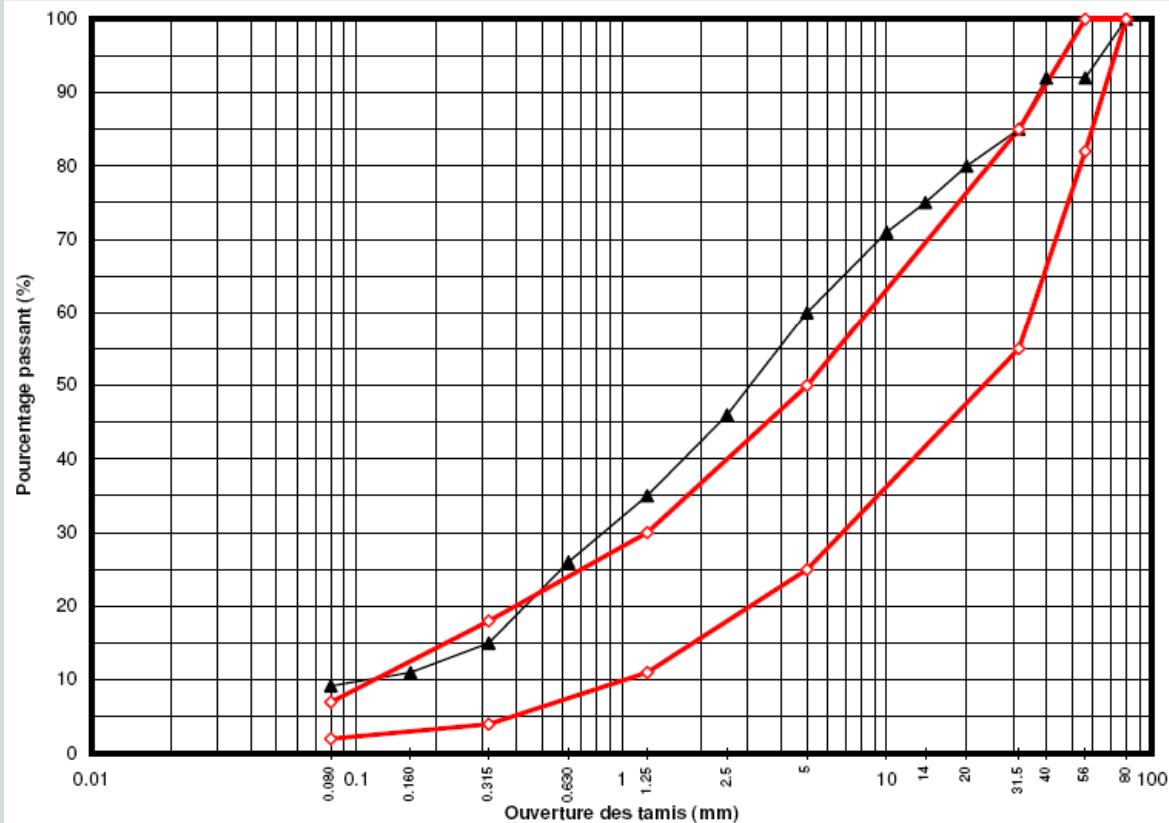


Symb.	Sondage no.	Echan. no.	Gravier (%)	Sable (%)	Silt et argile (%)
▲	F-7	CG-1a	47	46	7.2
●	F-8	CG-1a	40	53	7.1
+	F-9	CG-1a	36	54	10.5
◆	F-10	CG-1a	68	27	5.4



5) ÉTUDE DE CAS

Essais de laboratoire (MG-56)



Symb.	Sondage no.	Echan. no.	Gravier (%)	Sable (%)	Silt et argile (%)
▲	F-6	CG-1b	40	51	9.2



5) ÉTUDE DE CAS

Diagnostics

- ◆ **Revêtement avec déficiences majeures**
 - Fissures ouvertes
 - Ornières
- ◆ **Protection contre le gel déficient**
 - 430 à 800 mm vs 865 mm (1 080 °C – jours)
- ◆ **Matériaux limitrophes ou déficients**
- ◆ **Secteur 0+350 à 1+500 nécessite renforcement**
 - 133 mm



5) ÉTUDE DE CAS

Solution d'une durée de vie de 20 ans

- ◆ **Reconstruction**
- ◆ **Retraitement en place avec rechargement granulaire**
- ◆ **Retraitement en place sans rechargement granulaire (secteur limité)**



5) ÉTUDE DE CAS

Reconstruction

ÉLÉMENT DE LA CHAUSSÉE	MATÉRIAU	ÉPAISSEUR (mm)	
		0+350 à 1+520	0+000 à 0+350 1+520 à 1+650
Revêtement (couche de roulement)	ESG-10 (bitume PG 64-34)	50	50
Revêtement (couche de base)	ESG-14 (bitume PG 58-28)	70	70
Fondation	MG 20	300	300
Sous-fondation	MG 112	450	350
	Épaisseur totale :	870	770



5) ÉTUDE DE CAS

Retraitement en place avec rechargement granulaire

- ◆ **Planage du revêtement sur 75 mm**
- ◆ **Décohéssionnement sur 300 mm**
- ◆ **Prélèvement d'échantillons des matériaux décohéssionnés pour satisfaire les exigences du MG 112 ($< 10\%$ au tamis $80\ \mu\text{m}$)**
- ◆ **Amendés et homogénéisés, selon les analyses granulométriques**
- ◆ **Reprofilage, nivellement et compactage final de la fondation décohéssionnée**
- ◆ **Rehaussement par la mise en place d'une nouvelle fondation granulaire**
 - 300 mm de MG 20 (0+350 à 1+520)
 - 200 mm de MG 20 (0+000 à 0+350 et 1+520 à 1+640)
- ◆ **Pose d'un nouveau revêtement bitumineux de 120 mm d'épaisseur**
 - 70 mm de ESG-14 (bitume PG 58-28)
 - 50 mm de ESG-10 (bitume PG 64-34)



5) ÉTUDE DE CAS

Retraitement en place sans rechargement granulaire

- ◆ Pour les secteurs entre 0+000 et 0+350 et entre 1+520 et 1+640 où les sols d'infrastructure sont moins gélifs → solution adaptée combinée au nettoyage et au creusage des fossés pour s'assurer de bien drainer les fondations de la chaussée.
- ◆ Planage du revêtement sur 75 mm
- ◆ Décohésionnement sur 300 mm
- ◆ Prélèvement d'échantillons des matériaux décohésionnés Si la granulométrie est déficiente, amendés et homogénéisés
 - Nivellement et compactage de la fondation décohésionnée.
- ◆ Stabilisation des matériaux décohésionnés sur 150 mm avec un liant mixte contenant 1,0 % de ciment.
- ◆ Nivellement et compactage final de la fondation stabilisée.
- ◆ Mise en place d'un nouveau revêtement bitumineux de 100 mm selon les épaisseurs suivantes.
 - 60 mm d'enrobé ESG-14 (PG 64-28).
 - 40 mm d'enrobé ESG-10 (PG 70-28).



5) ÉTUDE DE CAS

Solution d'une durée de vie de l'ordre de 5 à 8 ans

- ◆ Des déficiences liées au comportement hivernal de la chaussée pourraient apparaître à court et moyen terme, tout particulièrement dans le secteur 0+350 à 1+520

Solution optimisée

- ◆ Recyclage à froid du revêtement sur une épaisseur de 70 mm au moyen d'un train de recyclage
- ◆ Nivellement et compactage du revêtement recyclé
- ◆ Mise en place d'un nouveau revêtement bitumineux ESG-10 de 70 mm (PG 70-28)



6) CONCLUSIONS

- ◆ **Diverses solutions pour différentes durées de vie**
- ◆ **Segmentation importante**
- ◆ **Approche statistique**
- ◆ **En recherche de solution optimale**
→ **Une approche de LCCA**

