

# Dimensionnement des chaussées souples au MTQ

Formation

Bitume Québec

23 au 25 novembre 2010

Guy Bergeron, ing. M.Sc.

Denis Saint-Laurent, ing. M.Sc.

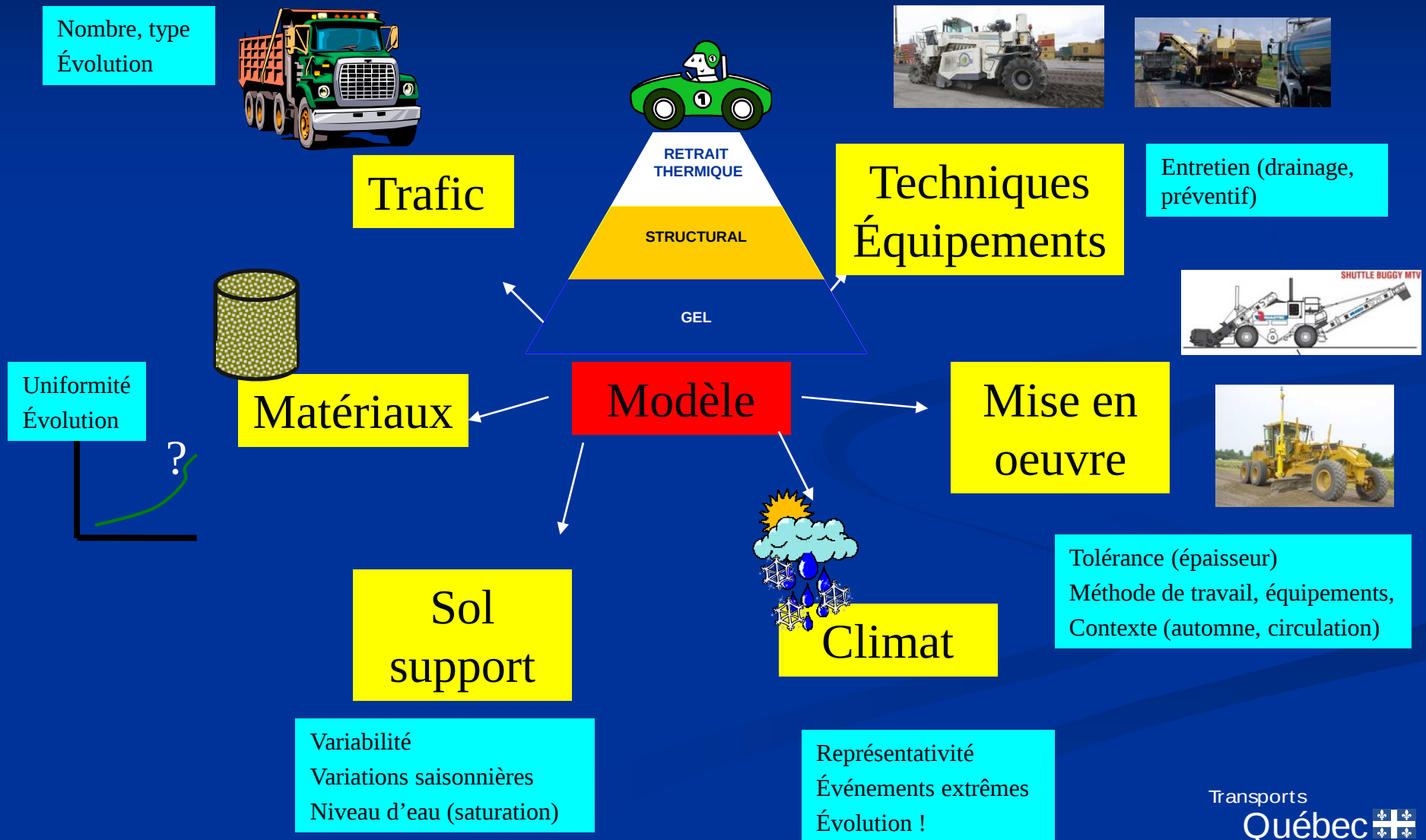
Félix Doucet, ing., M.Sc.

**CHAUSSÉE**  
**Version 2**

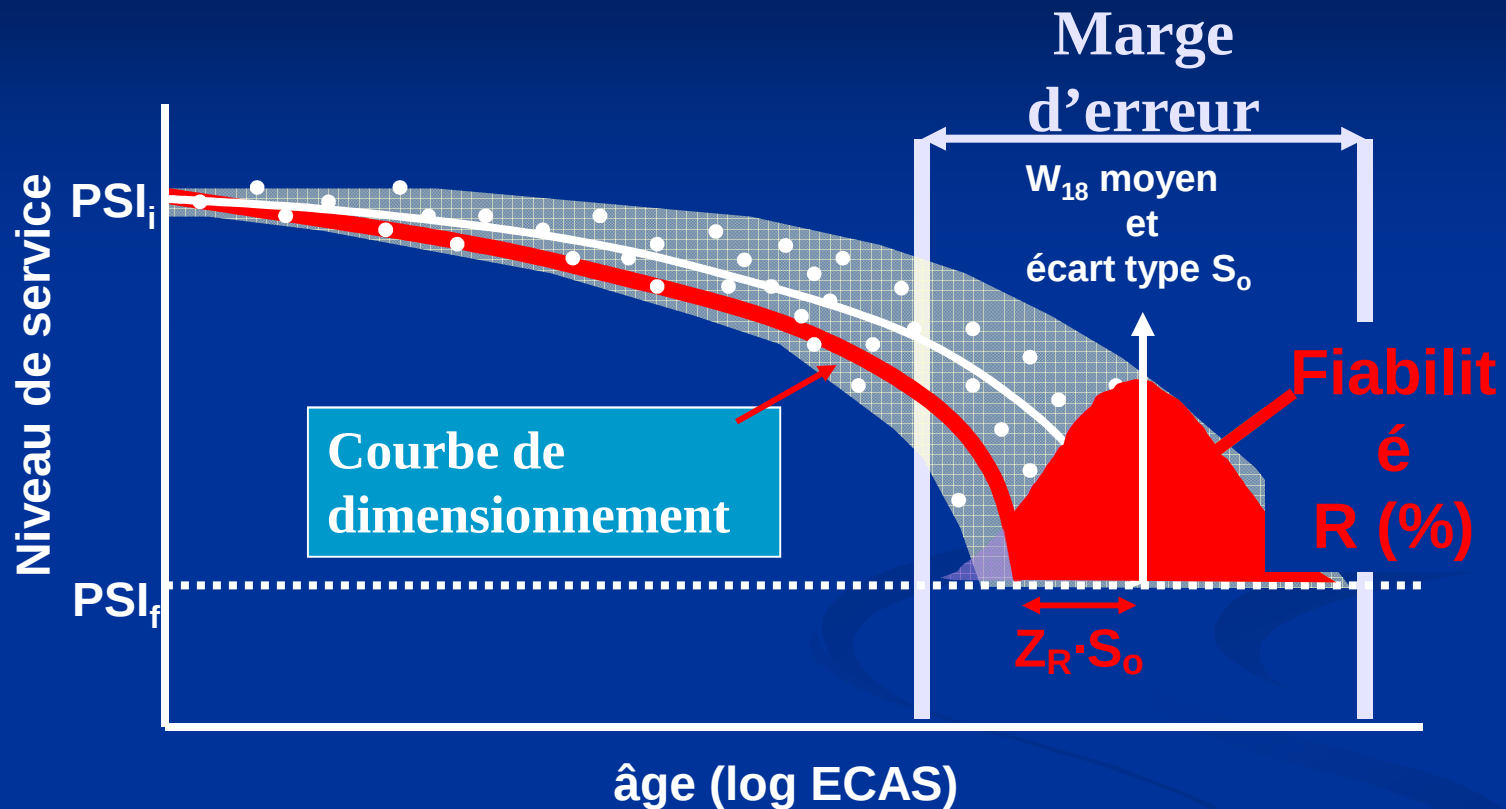


Logiciel de dimensionnement  
des chaussées souples

# Conception des chaussées



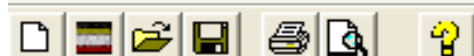
# AASHTO: Performance et durée de vie



R représente les chances que la chaussée présente un niveau de qualité supérieur ou égal à celui visé à la fin de la période de conception

# Chaussée - [Projet1]

Fichier Edition Affichage Modul



## Segment homogène

Phase 1  
2+300 à 3+100  
Profil = T.N.  
Secteur "plat"



## Couches de matériaux

Matériau

|   |                             |             |  |
|---|-----------------------------|-------------|--|
| 1 | BB HRO                      | 145         |  |
| 2 | MG 20                       | 200         |  |
| 3 | MG 112 (excluant les sable  | 575         |  |
| 4 |                             |             |  |
| 5 |                             |             |  |
| 6 |                             |             |  |
| 7 |                             |             |  |
| 8 |                             |             |  |
| 9 | SC fin (plus de 30 % passer | Total = 920 |  |

Réinitialiser les matériaux

## Objectifs

Type de route

Nationale

Classe de trafic (DJMA projeté)

entre 5000 et 20000

Années

ÉCAS (millions)

30

3,0



Outil ÉCAS

BB reporté à l'an prochain :

0

mm

Météorologique

ne-de-la-Pérade

Choisir

T<sub>BB</sub>

T<sub>ma</sub>

IG<sub>n</sub>

σ<sub>IG</sub>

20,5

4,2

1252

228

PR

IG

15

1595

IG<sub>s</sub>

1595



K<sub>f</sub>

S<sub>r</sub>

(%)

L<sub>f</sub>

(Wh/m²)

Coût

(\$/m²)

1,48

0

1250

20,45

2,2

4,0

0,0

1,77

1,89

52

7897

3,80

2,05

8,0

0,0

2,46

2,98

72

14967

5,46

1,8

16,0

2,0

10,0

1,88

2,58

87

24859

Total

29,71

☐ Graphe

Z (m)

2,293

h (m)

0,037



# Objectifs de design

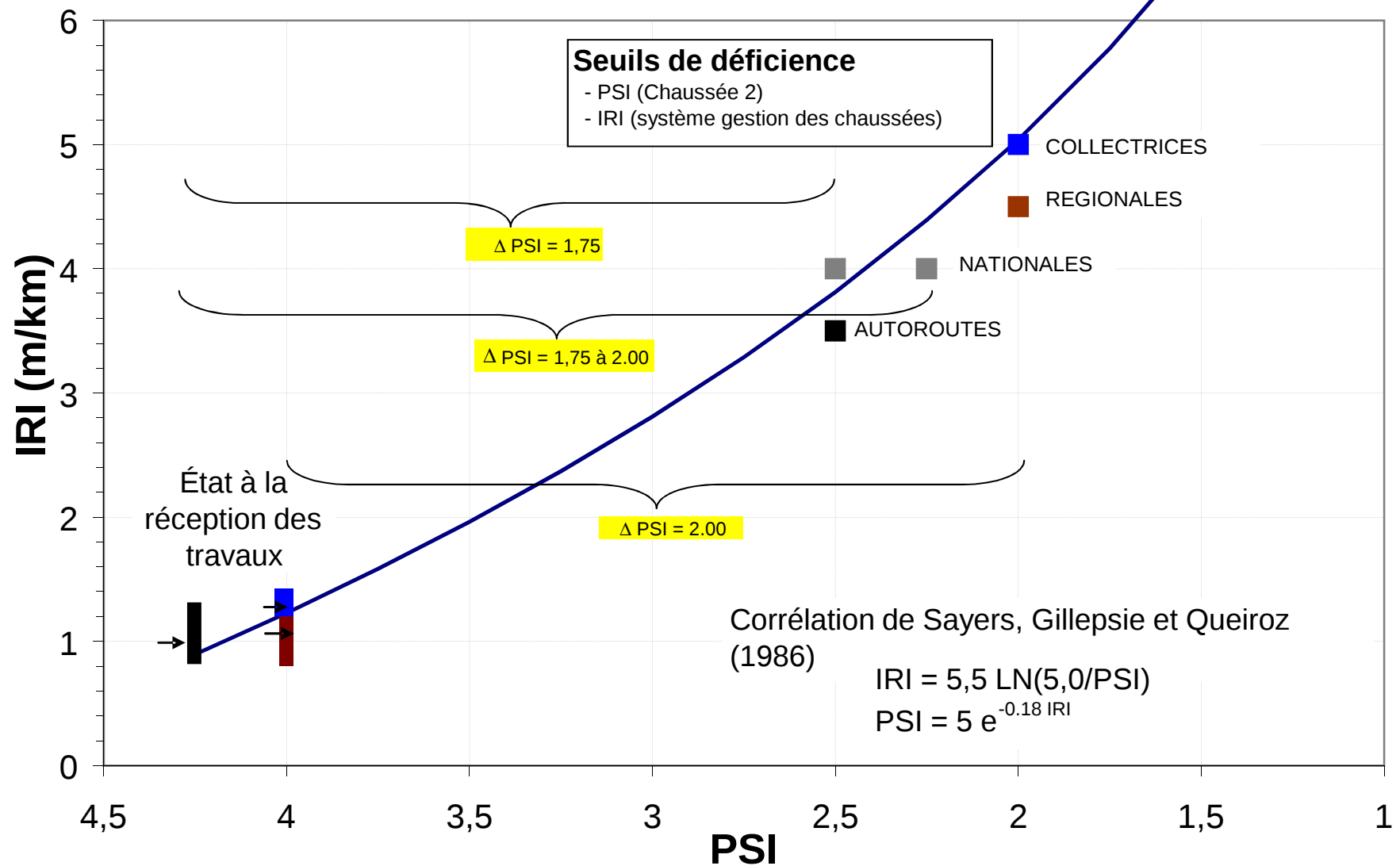
| Classification de la route | D.J.M.A.     | Période de Conception (années) | $\Delta$ PSI | Fiabilité R (%) | Soulèvement au gel (mm) |
|----------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|-----------------|-------------------------|
| Locale                     | < 1 000      | 25                             | 2,0          | 66              | 70                      |
|                            | > 1 000      | 25                             | 2,0          | 70              | 70                      |
| Collectrice                | < 2 000      | 25                             | 2,0          | 70              | 60                      |
| Régionale et               | 2 000-3 000  | 25                             | 2,0          | 75              | 60                      |
| Échangeur                  | > 3 000      | 25                             | 2,0          | 80              | 60                      |
| Nationale                  | < 5 000      | 25                             | 2,0          | 80              | 55                      |
|                            | 5 000-20 000 | 30                             | 2,0          | 85              | 55                      |
|                            | > 20 000     | 30                             | 1,75         | 90              | 50                      |
| Autoroute                  | < 20 000     | 30                             | 1,75         | 90              | 50                      |
|                            | > 20 000     | 30                             | 1,75         | 95              | 50                      |

# Variabilité So

- Intègre la dispersion de toutes les données
  - Propriétés des matériaux
  - Épaisseur
  - Niveaux de qualité
  - Trafic
  - Drainage des couches
  - Caractéristiques du sol
  - Précision du modèle
- La valeur utilisée pour fins de conception dans le modèle AASHTO est de 0,45

# $\Delta$ PSI

## Niveau de Service (IRI vs PSI)



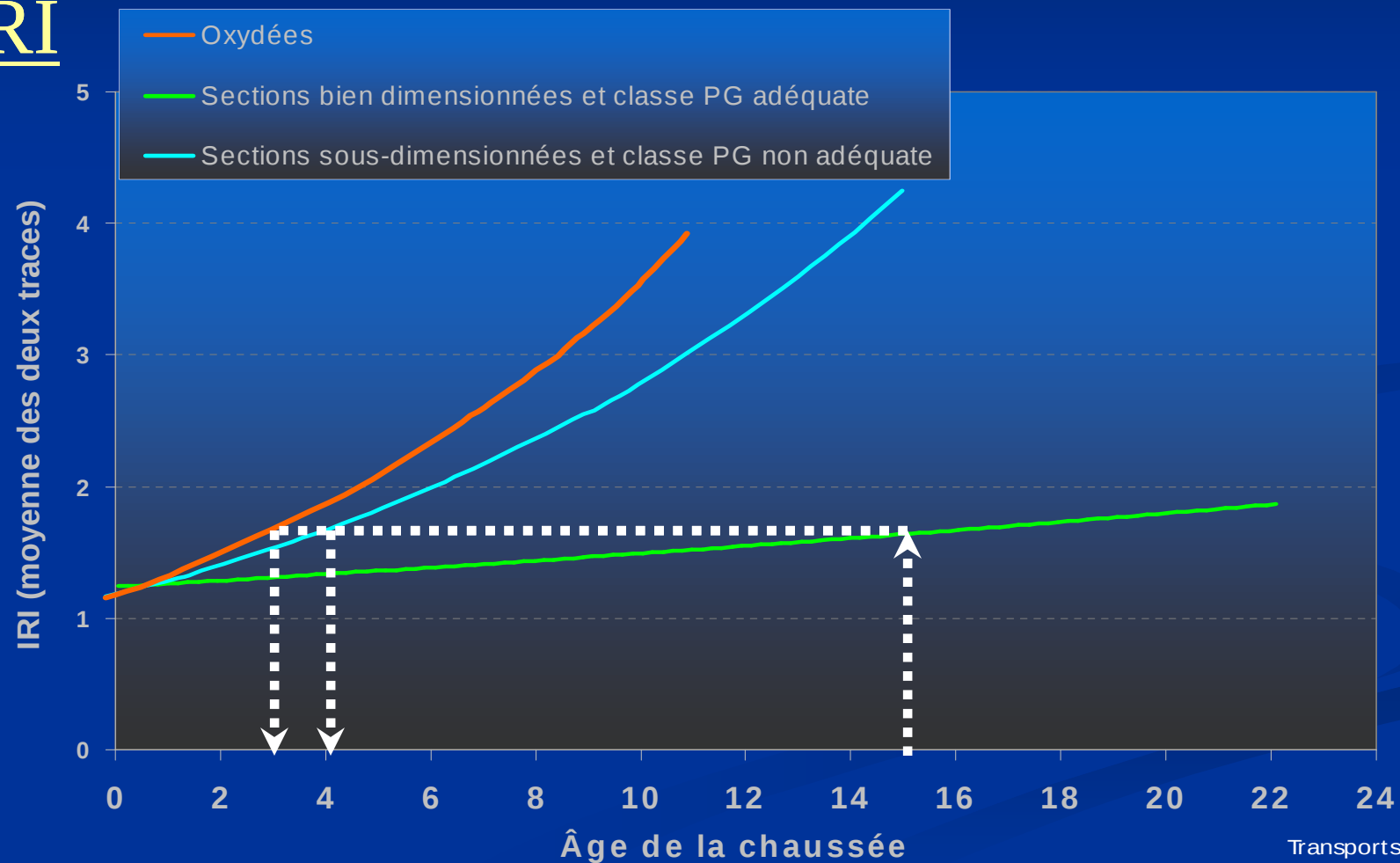
# Objectifs de design

| Classification de la route | D.J.M.A.     | Période de Conception (années) | $\Delta$ PSI | Fiabilité R (%) | Soulèvement au gel (mm) |
|----------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|-----------------|-------------------------|
| Locale                     | < 1 000      | 25                             | 2,0          | 66              | 70                      |
|                            | > 1 000      | 25                             | 2,0          | 70              | 70                      |
| Collectrice                | < 2 000      | 25                             | 2,0          | 70              | 60                      |
| Régionale et               | 2 000-3 000  | 25                             | 2,0          | 75              | 60                      |
| Échangeur                  | > 3 000      | 25                             | 2,0          | 80              | 60                      |
| Nationale                  | < 5 000      | 25                             | 2,0          | 80              | 55                      |
|                            | 5 000-20 000 | 30                             | 2,0          | 85              | 55                      |
|                            | > 20 000     | 30                             | 1,75         | 90              | 50                      |
| Autoroute                  | < 20 000     | 30                             | 1,75         | 90              | 50                      |
|                            | > 20 000     | 30                             | 1,75         | 95              | 50                      |

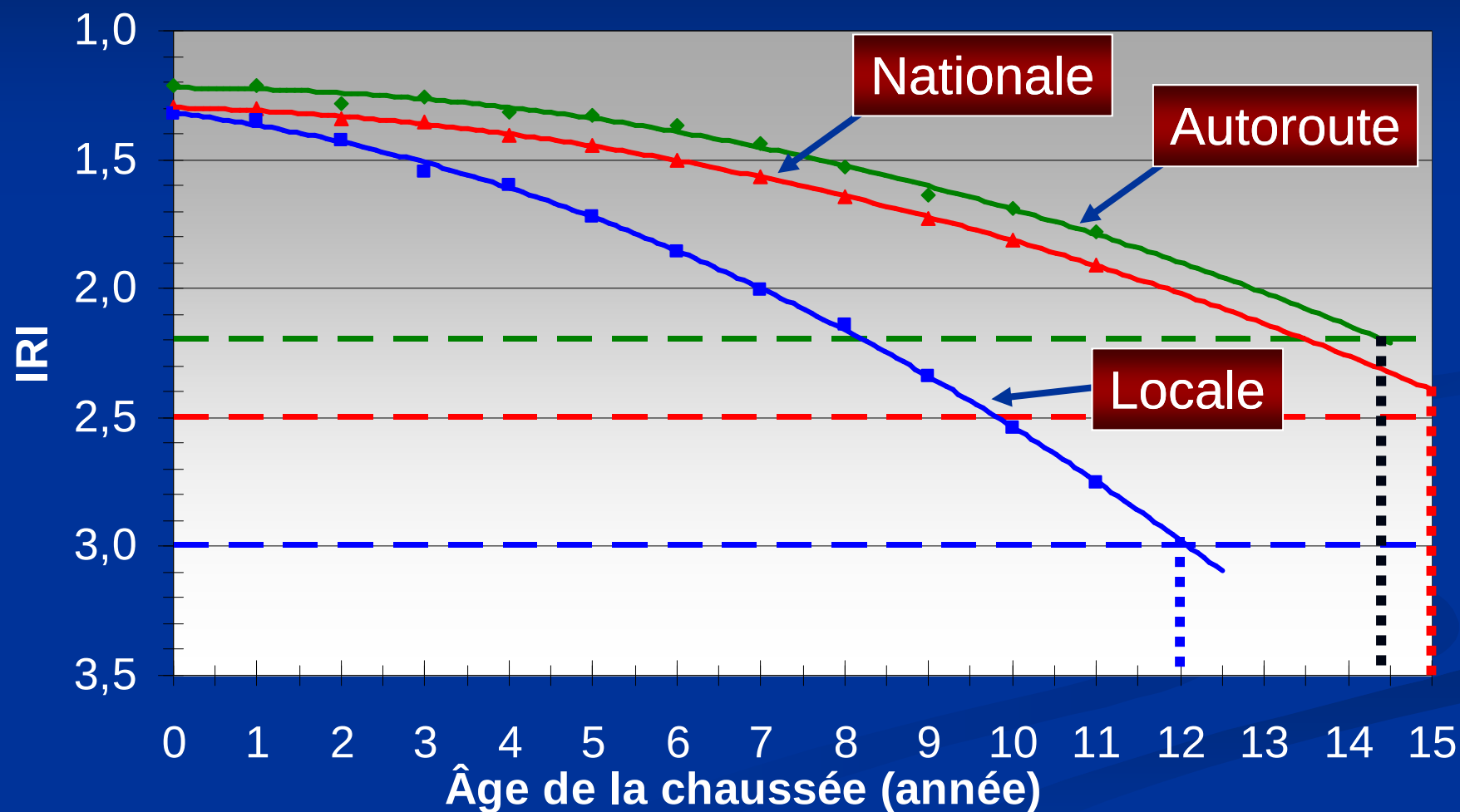
# Comportement des chaussées

## Durées de vie...

IRI



# Performance (IRI): RP AVEC Stabilisation



# Évolutions des pratiques

- Liants bitumineux (classe PG)
- Nouveaux enrobés (méthode LC)
- Méthode de dimensionnement (logiciel Chaussée)
  - Mécanique
  - Thermique
  - Protection contre le gel
  - Implantation des VTM, contrôle Thermographie.

# Prolongement des durées de vies

(nouvelle route, isolation, décohesionnement, conc. dalle)

| Route       | DJMA   | V 1.2  | V 2.0  |
|-------------|--------|--------|--------|
| Autoroute   | tout   | 20 ans | 30 ans |
| Nationale   | > 5000 | 20 ans | 30 ans |
|             | < 5000 | 15 ans | 25 ans |
| Régionale   | tout   | 15 ans | 25 ans |
| Collectrice | tout   | 15 ans | 25 ans |
| Locale      | tout   | 15 ans | 25 ans |

# Traffic

The screenshot displays the CHAUSSEE software interface with several key sections:

- Menu Bar:** Fichier, Edition, Affichage, Modules, Outils, Fenêtre, ?
- Segment homogène:** A large empty box for drawing or notes.
- Objectifs:**
  - Type de route: [Dropdown]
  - Classe de trafic (DJMA projeté): [Dropdown]
  - Années: [Input] | ÉCAS (millions): [Input: 0,0] | ☐ Outil ÉCAS
  - BB reporté à l'an prochain: [Input: 0] mm
- Climat:**
  - Station météorologique: [Input] Choisir
  - Zone: [Dropdown] | T<sub>BB</sub>: [Input] | T<sub>ma</sub>: [Input] | IGn: [Input] | σ<sub>IG</sub>: [Input]
  - Simulation: [Dropdown] | PR: [Input] | IG: [Input]
  - n: [Input] | IGs: [Input]
- Couches de matériaux:**

|   | Matériau   | H (mm)  |           |
|---|------------|---------|-----------|
| 1 | [Dropdown] | [Input] | [Buttons] |
| 2 | [Dropdown] | [Input] | [Buttons] |
| 3 | [Dropdown] | [Input] | [Buttons] |
| 4 | [Dropdown] | [Input] | [Buttons] |
| 5 | [Dropdown] | [Input] | [Buttons] |
| 6 | [Dropdown] | [Input] | [Buttons] |
| 7 | [Dropdown] | [Input] | [Buttons] |
| 8 | [Dropdown] | [Input] | [Buttons] |

Réinitialiser les matériaux
- STRUCTURAL | GEL | GEL (1994) |**

| F Mr    | Mr effectif (MPa) | a (po <sup>-1</sup> ) | m       | SN      | W18 (en millions) |
|---------|-------------------|-----------------------|---------|---------|-------------------|
| [Input] | [Input]           | [Input]               | [Input] | [Input] | [Input]           |
| [Input] | [Input]           | [Input]               | [Input] | [Input] | [Input]           |
| [Input] | [Input]           | [Input]               | [Input] | [Input] | [Input]           |
| [Input] | [Input]           | [Input]               | [Input] | [Input] | [Input]           |
| [Input] | [Input]           | [Input]               | [Input] | [Input] | [Input]           |
| [Input] | [Input]           | [Input]               | [Input] | [Input] | [Input]           |
| [Input] | [Input]           | [Input]               | [Input] | [Input] | [Input]           |
| [Input] | [Input]           | [Input]               | [Input] | [Input] | [Input]           |
- Coût (\$/m²):**

|         |
|---------|
| [Input] |
| [Input] |
| [Input] |
| [Input] |
| [Input] |
| [Input] |
| [Input] |
| Total   |
| [Input] |

# Calcul de l'agressivité totale pour la période de conception



$$W_{18} = DJMA * \%D * \%voies * \%V.L. * C.A.M * N \text{ jrs} * f.a.$$

- $W_{18}$  = Nombre total de passage d'essieu équivalent à un essieu de référence de 18 000 lbs (8.16 t) sur le voie la plus sollicitée
- DJMA = Débit journalier moyen annuel
- %D = Pourcentage de véhicules par direction
- %voie = Pourcentage de véhicules sur la voie la plus sollicitée
- %V.L. = Pourcentage de véhicules lourds



# Agressivité totale

$$W_{18} = DJMA * \%D * \%voies * \%V.L. * C.A.M * N \text{ jrs} * f.a.$$

- C.A.M. = Coefficient d'agressivité moyen
- N jrs = 300 jours, correspond à la proportion de V.L. applicable durant l'année au Québec compte tenu de la méthodologie utilisée pour les comptages de trafic



# Agressivité totale

$$W_{18} = DJMA * \%D * \%voies * \%V.L. * C.A.M * N \text{ jrs} * f.a.$$

- f.a. = facteur d'accroissement pour les véhicules lourds
- $f.a. = ((1+g)^n) - 1) / g$ 
  - $g$  = taux d'accroissement (taux composé)
  - $n$  = période de design



# Classification des véhicules (manuelle ou automatique)

Somme des deux directions

Municipalité de: SHERBROOKE  
Localisation: 2,2 km à l'est de la 220 (100km/h)  
Station de comptage: 0001024500 (00010-03-025)  
Date de relevé: 2006-10-26 ( Jeudi )

Résultats pour l'ensemble de la collecte

|                                           |      |             |
|-------------------------------------------|------|-------------|
| Pourcentage de camions sur semaine:       | 8.84 | ( 98 hres ) |
| Pourcentage de camions de fin de semaine: | 2.7  | ( 48 hres ) |

Classification selon le standard FHWA

| Heure        | Moto-<br>cyclette | Véhicul.<br>légers | Véhicul.<br>légers et<br>remorque | Autobus | Camion,<br>1 unité<br>2 ess. | Camion,<br>1 unité<br>3 ess. | Camion,<br>1 unité<br>4 ess. | Camion,<br>2 unités<br>4 ess. | Camion,<br>2 unités<br>5 ess. | Camion,<br>2 unités<br>6 ess. | Camion,<br>3 unités<br>5 ess. | Camion,<br>3 unités<br>6 ess. | Camion,<br>3 unités<br>7 ess. | Non-<br>clas-<br>sifiés | Total | % camions |
|--------------|-------------------|--------------------|-----------------------------------|---------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------|-----------|
| 00:00-01:00  | 0                 | 158                | 12                                | 0       | 0                            | 0                            | 0                            | 0                             | 11                            | 3                             | 1                             | 0                             | 2                             | 0                       | 187   |           |
| 01:00-02:00  | 0                 | 65                 | 6                                 | 0       | 2                            | 1                            | 0                            | 2                             | 9                             | 7                             | 0                             | 0                             | 2                             | 2                       | 96    |           |
| 02:00-03:00  | 0                 | 41                 | 4                                 | 0       | 0                            | 0                            | 0                            | 0                             | 7                             | 6                             | 0                             | 0                             | 0                             | 2                       | 60    |           |
| 03:00-04:00  | 0                 | 37                 | 8                                 | 0       | 1                            | 2                            | 0                            | 2                             | 9                             | 11                            | 0                             | 0                             | 2                             | 3                       | 75    |           |
| 04:00-05:00  | 0                 | 68                 | 19                                | 0       | 7                            | 6                            | 0                            | 2                             | 15                            | 19                            | 0                             | 0                             | 0                             | 5                       | 141   |           |
| 05:00-06:00  | 1                 | 216                | 45                                | 1       | 11                           | 10                           | 0                            | 5                             | 31                            | 26                            | 0                             | 0                             | 4                             | 5                       | 355   |           |
| 06:00-07:00  | 0                 | 891                | 156                               | 2       | 18                           | 16                           | 0                            | 7                             | 36                            | 31                            | 0                             | 0                             | 2                             | 39                      | 1198  |           |
| 07:00-08:00  | 1                 | 2385               | 237                               | 2       | 35                           | 19                           | 1                            | 7                             | 56                            | 33                            | 1                             | 0                             | 5                             | 75                      | 2857  | 5.6       |
| 08:00-09:00  | 1                 | 2162               | 201                               | 6       | 34                           | 36                           | 0                            | 13                            | 69                            | 47                            | 1                             | 0                             | 4                             | 57                      | 2631  | 8.0       |
| 09:00-10:00  | 0                 | 1213               | 160                               | 3       | 29                           | 29                           | 0                            | 12                            | 60                            | 51                            | 0                             | 0                             | 7                             | 45                      | 1609  | 11.9      |
| 10:00-11:00  | 3                 | 1078               | 171                               | 2       | 19                           | 51                           | 1                            | 12                            | 70                            | 55                            | 0                             | 0                             | 8                             | 41                      | 1511  |           |
| 11:00-12:00  | 1                 | 1144               | 164                               | 4       | 25                           | 42                           | 2                            | 20                            | 55                            | 60                            | 0                             | 0                             | 8                             | 36                      | 1561  |           |
| 12:00-13:00  | 1                 | 1209               | 132                               | 0       | 24                           | 26                           | 1                            | 20                            | 69                            | 56                            | 0                             | 0                             | 12                            | 32                      | 1582  |           |
| 13:00-14:00  | 0                 | 1245               | 190                               | 2       | 16                           | 34                           | 0                            | 19                            | 102                           | 38                            | 0                             | 0                             | 4                             | 60                      | 1710  |           |
| 14:00-15:00  | 1                 | 1432               | 189                               | 2       | 24                           | 34                           | 1                            | 13                            | 91                            | 43                            | 1                             | 0                             | 4                             | 45                      | 1880  |           |
| 15:00-16:00  | 2                 | 1908               | 225                               | 2       | 38                           | 31                           | 0                            | 20                            | 94                            | 39                            | 0                             | 0                             | 5                             | 74                      | 2438  | 9.4       |
| 16:00-17:00  | 0                 | 2646               | 306                               | 5       | 33                           | 18                           | 0                            | 11                            | 89                            | 37                            | 1                             | 0                             | 5                             | 83                      | 3234  | 6.2       |
| 17:00-18:00  | 1                 | 2464               | 226                               | 7       | 18                           | 11                           | 0                            | 10                            | 72                            | 24                            | 1                             | 0                             | 4                             | 80                      | 2918  | 5.0       |
| 18:00-19:00  | 0                 | 1434               | 132                               | 1       | 7                            | 9                            | 0                            | 3                             | 56                            | 18                            | 0                             | 0                             | 2                             | 36                      | 1698  |           |
| 19:00-20:00  | 0                 | 1050               | 115                               | 1       | 3                            | 4                            | 0                            | 1                             | 54                            | 16                            | 2                             | 0                             | 3                             | 31                      | 1280  |           |
| 20:00-21:00  | 1                 | 800                | 85                                | 3       | 6                            | 4                            | 0                            | 4                             | 57                            | 14                            | 0                             | 0                             | 6                             | 19                      | 999   |           |
| 21:00-22:00  | 0                 | 715                | 59                                | 0       | 3                            | 2                            | 0                            | 3                             | 36                            | 8                             | 2                             | 0                             | 2                             | 20                      | 850   |           |
| 22:00-23:00  | 0                 | 510                | 27                                | 0       | 3                            | 3                            | 0                            | 2                             | 33                            | 12                            | 1                             | 0                             | 2                             | 10                      | 603   |           |
| 23:00-00:00  | 0                 | 393                | 14                                | 0       | 5                            | 3                            | 0                            | 0                             | 24                            | 3                             | 1                             | 0                             | 1                             | 10                      | 454   |           |
| Total-Jour   | 13                | 25264              | 2883                              | 43      | 361                          | 391                          | 6                            | 188                           | 1205                          | 657                           | 12                            | 0                             | 94                            | 810                     | 31927 |           |
| Pourcent (%) | 0                 | 79.1               | 9                                 | 0.1     | 1.1                          | 1.2                          | 0                            | 0.6                           | 3.8                           | 2.1                           | 0                             | 0                             | 0.3                           | 2.5                     |       | 9.3       |

\* : volumes estimés

# Outil de calcul du nombre d'ÉCAS

## Prévision du trafic

Année du comptage  Année du projet

DJMA du comptage  DJMA actualisé

Durée de vie (en années)  f.a. (%)  f.a.  Nirs (jours/an)

## Agressivité du trafic

Proportion de véhicules lourds (%)

## Coefficient d'agressivité moyen (CAM)

☐ Valeur par défaut

☒ Classification

☐ Saisie directe CAM



## Répartition du trafic lourd sur les voies

### Nombre de voies par direction

☐ 1 voie ☐ 2 voies ☒ 3 voies

### Direction 1

Fraction du trafic en direction 1 (%)

DJMA projeté pour la direction 1

### Direction 2

Fraction du trafic en direction 2 (%)

DJMA projeté pour la direction 2

| Fraction par voie (%) | Trafic par voie (DJMA) | FS  | ÉCAS par voie (en millions) | Voie de référence                         |
|-----------------------|------------------------|-----|-----------------------------|-------------------------------------------|
| 62,0                  | 3 256                  | 1,0 |                             | <input type="radio"/> Voie 1              |
| 30,6                  | 6 542                  | 1,0 |                             | <input type="radio"/> Voie 2              |
| 7,4                   | 582                    | 1,0 |                             | <input type="radio"/> Voie 3              |
|                       |                        |     |                             | <input checked="" type="radio"/> Voie max |
| 7,4                   | 582                    | 1,0 |                             | <input type="radio"/> Voie 3              |
| 30,6                  | 6 542                  | 1,0 |                             | <input type="radio"/> Voie 2              |
| 62,0                  | 3 256                  | 1,0 |                             | <input type="radio"/> Voie 1              |

## Norme pour faible trafic

DJMA corrigé  DJMA projeté  ÉCAS projeté (millions)

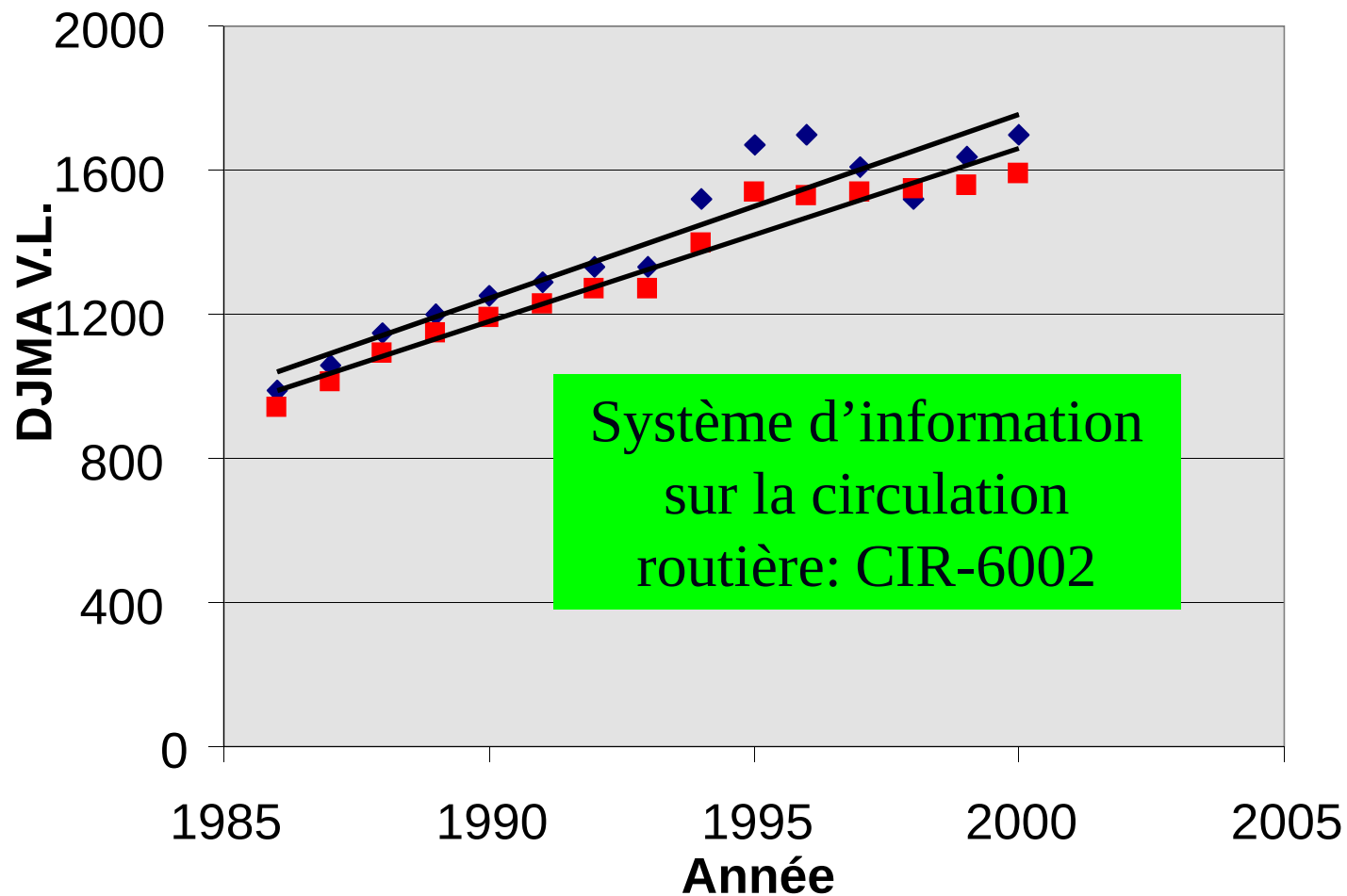


## C.A.M. par défaut\*

| Classe de route                  | % de véhicules lourds |         |         |        |
|----------------------------------|-----------------------|---------|---------|--------|
|                                  | 0 - 10                | 10 - 20 | 20 - 30 | > 30 % |
| Locale                           | 0.8                   | 1.2     | -       | -      |
| Collectrice                      | 1.2                   | 1.9     | -       | -      |
| Régionale                        | 1.4                   | 2.6     | -       | -      |
| Nationale à autoroute ou urbaine | 1.2                   | 1.3     | -       | -      |
| Nationale rurale                 | 2.1                   | 3.1     | 3.7     | 5.3    |
| Autoroute urbaine                | 1.1                   | 1.3     | -       | -      |
| Autoroute péri-urbaine           | 1.7                   | 2.0     | -       | -      |
| Autoroute rurale                 | 2.1                   | 2.7     | 3.4     | -      |

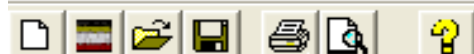
\*À utiliser en l'absence de données sur la classification des véhicules

# Calcul de l'accroissement (g) du DJMA véhicule lourd



# Chaussée - [Projet1]

Fichier Edition Affichage Modules Outils Fenêtre ?



## Segment homogène

Phase 1  
2+300 à 3+100  
Profil = T.N.  
Secteur "plat"

## Objectif

Type de rou

Nationale

Classe de tr

entre 5000

Années

30

BB reporté

## Climat

Station météorologique

Sainte-Anne-de-la-Pérade

Choisir

Zone

Sud

T<sub>BB</sub>

20,5

T<sub>ma</sub>

4,2

IG<sub>n</sub>

1252

σ<sub>IG</sub>

228

Simulation

Climat

PR

15

IG

1595

n

1,0

IG<sub>s</sub>

1595

## Couches de matériaux

|   | Matériau                    | H (mm)      |  |
|---|-----------------------------|-------------|--|
| 1 | BB HRO                      | 145         |  |
| 2 | MG 20                       | 200         |  |
| 3 | MG 112 (excluant les sable  | 575         |  |
| 4 |                             |             |  |
| 5 |                             |             |  |
| 6 |                             |             |  |
| 7 |                             |             |  |
| 8 | SC fin (plus de 30 % passer | Total = 920 |  |

Réinitialiser les matériaux

## STRUCTURE

ρ<sub>d</sub>  
(t/m<sup>3</sup>)

|      |      |     |      |      |      |    |       |       |
|------|------|-----|------|------|------|----|-------|-------|
| 2,35 | 0,0  | 0,0 |      | 1,48 | 1,48 | 0  | 1250  | 20,45 |
| 2,2  | 4,0  | 0,0 |      | 1,77 | 1,89 | 52 | 7897  | 3,80  |
| 2,05 | 8,0  | 0,0 |      | 2,46 | 2,98 | 72 | 14967 | 5,46  |
|      |      |     |      |      |      |    |       |       |
|      |      |     |      |      |      |    |       |       |
|      |      |     |      |      |      |    |       |       |
|      |      |     |      |      |      |    |       |       |
| 1,8  | 16,0 | 2,0 | 10,0 | 1,88 | 2,58 | 87 | 24859 | Total |
|      |      |     |      |      |      |    |       | 29,71 |

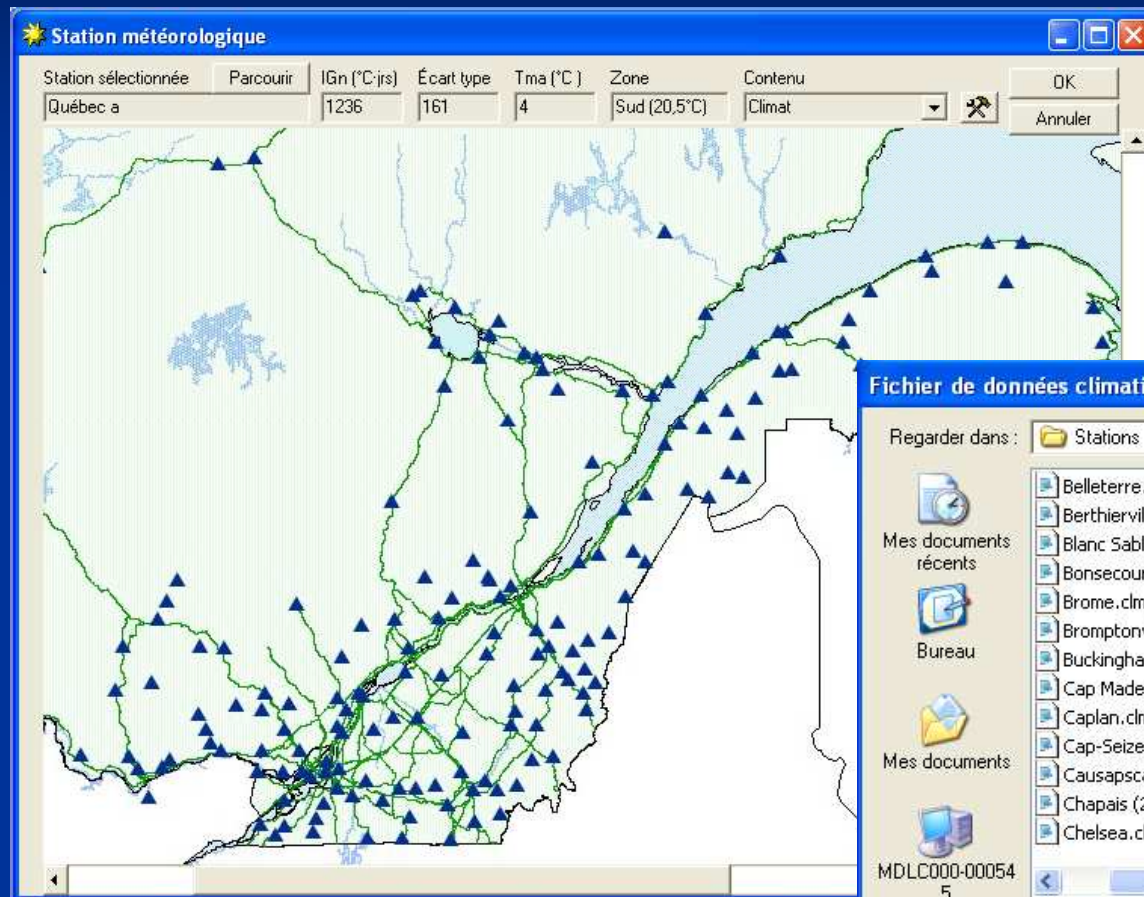
☐ Graphe

Z (m) 2,293

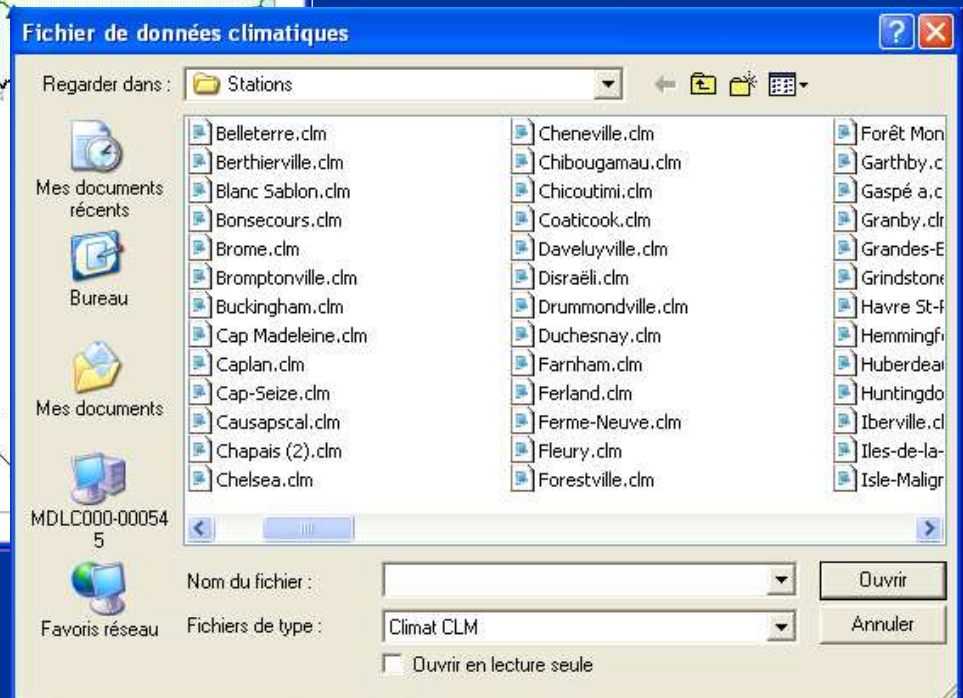
h (m) 0,037



# Climat



- Sur la carte
- Sur le disque dur





Segment homogène

Objectifs

Climat

Phase 1  
2+300 à  
Profil = T  
Secteur

Type de route

Station météorologique

Choisir

$\sigma_{IG}$   
228



Coût  
(\$/m²)  
20,45

3,80

5,46

Total  
29,71

Total  
29,71

STRUCTURAL | GEL | GEL (1994) |

F Mr

Mr effectif  
(MPa)

a  
(po<sup>-1</sup>)

m

SN

W18  
(en millions)

1,00

3592

0,47

1,0

2,69

3,447

20,45

1,00

148

0,1

0,8

3,33

3,971

3,80

1,00

87

0,09

0,8

5,0

8,153

5,46

Couche

1 BB HP

2 MG 2

3 MG 11

4

5

6

7

8

9

1,00

36

-> Équivalences d'été (FAS = 0,84)  
Mr = 43 MPa  
CBR = 5,6



1,00

36

-> Equivalences d'été (FAS = 0,84)  
Mr = 43 MPa  
CBR = 5,6



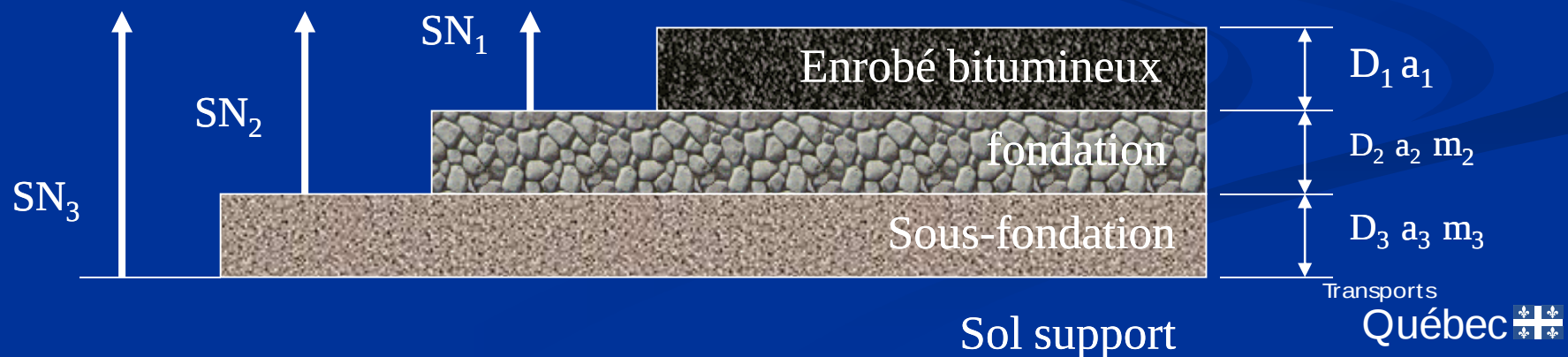
Réinitialiser les matériaux

# Méthode AASHTO: Nombre structural (SN)

■  $SN_{\text{requis}}$  ft (...)

- $ECAS$  = Trafic cumulatif pendant la période de design
- $R$  = Fiabilité
- $S_0$  = Variabilité

- $M_R$  = Module de résilience
- Période de design
- $\Delta PSI$  = Diminution de l'indice de viabilité pendant la période de design



# Méthode AASHTO

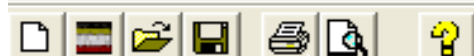


Sol support

- $SN1 = a_1 \cdot D_1$
- $SN2 = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot m_2 \cdot D_2$
- $SN3 = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot m_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot m_3 \cdot D_3$ 
  - $a_i =$  Coefficient structural = f (Module Mr)
  - $D_i =$  Épaisseur de la couche
  - $m_i =$  Coefficient de drainage

# Chaussée - [Projet1]

Fichier Edition Affichage Modules Outils Fenêtre ?



## Segment homogène

Phase 1  
2+300 à 3+100  
Profil = T.N.  
Secteur "plat"

## Objectifs

Type de route

Nationale

Classe de trafic (DJMA projeté)

entre 5000 et 20000

Années ECAS (millions)

☐ Outil ECAS

chain : 0 mm

## Climat

Station météorologique

Sainte-Anne-de-la-Pérade

Choisir

| Zone | T <sub>BB</sub> | T <sub>ma</sub> | IG <sub>n</sub> | σ <sub>IG</sub> |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Sud  | 20,5            | 4,2             | 1252            | 228             |

| Simulation | PR | IG   |
|------------|----|------|
| Climat     | 15 | 1595 |

| n   | IG <sub>s</sub> |
|-----|-----------------|
| 1,0 | 1595            |

## Couches de matériaux

Matériau

H  
(mm)



|   |                             |             |  |
|---|-----------------------------|-------------|--|
| 1 | BB HRO                      | 145         |  |
| 2 | MG 20                       | 200         |  |
| 3 | MG 112 (excluant les sable  | 575         |  |
| 4 |                             |             |  |
| 5 |                             |             |  |
| 6 |                             |             |  |
| 7 |                             |             |  |
| 8 | SC fin (plus de 30 % passer | Total = 920 |  |

Réinitialiser les matériaux



GEL | GEL (1994)

| SPo<br>(mm <sup>2</sup> /KH) | a<br>(MPa <sup>-1</sup> ) | Ku<br>(W/mK) | Kf   | Sr<br>(%) | Lf<br>(Wh/m <sup>2</sup> ) | Coût<br>(\$/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|---------------------------|--------------|------|-----------|----------------------------|------------------------------|
| 0,0                          |                           | 1,48         | 1,48 | 0         | 1250                       | 20,45                        |
| 0,0                          |                           | 1,77         | 1,89 | 52        | 7897                       | 3,80                         |
| 0,0                          |                           | 2,46         | 2,98 | 72        | 14967                      | 5,46                         |
|                              |                           |              |      |           |                            |                              |
|                              |                           |              |      |           |                            |                              |
|                              |                           |              |      |           |                            |                              |
|                              |                           |              |      |           |                            |                              |
| 2,0                          | 10,0                      | 1,88         | 2,58 | 87        | 24859                      | Total                        |
|                              |                           |              |      |           |                            | 29,71                        |

(m) 2,293 h (m) 0,037



# Lois de comportement

- Visco-élastique (bitumineux):

- $M_R = 10 (K_1 - K_2 T^{K_3}) + K_4$

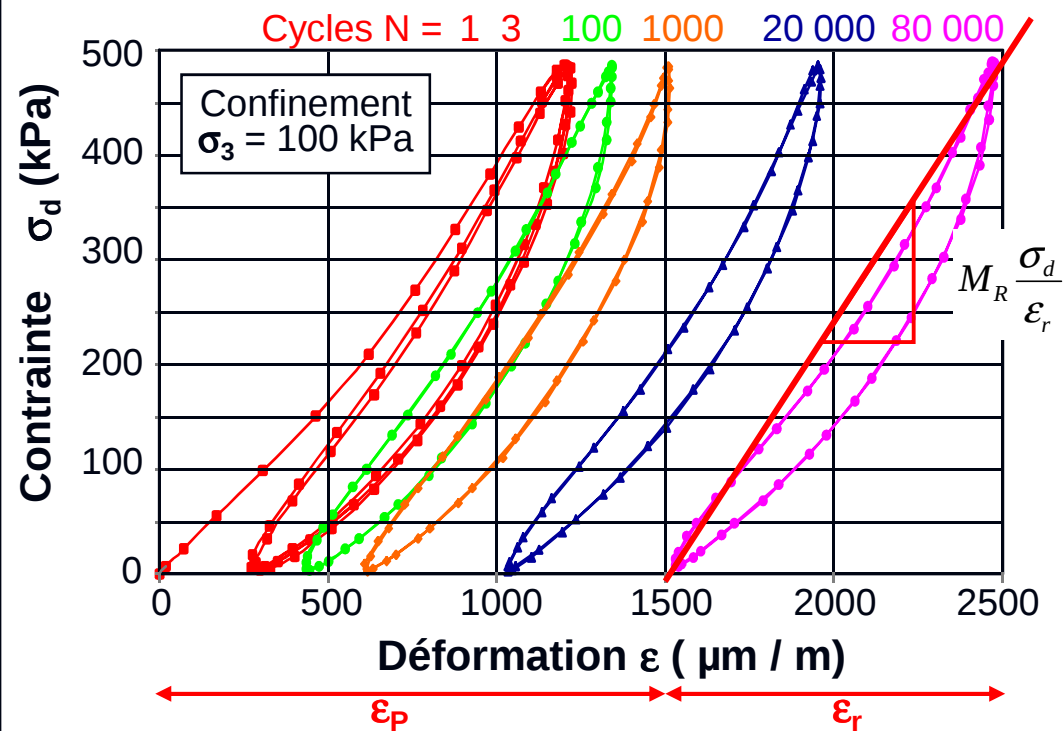
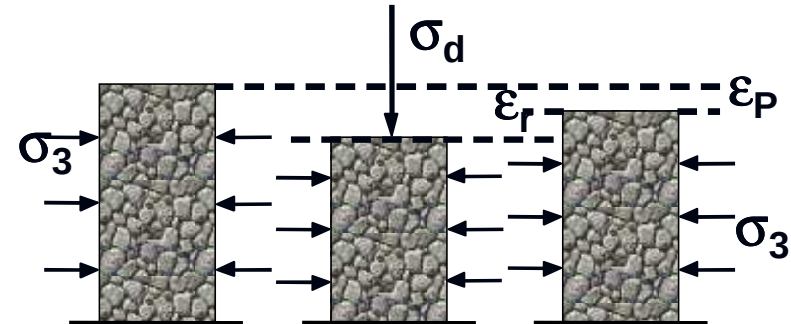
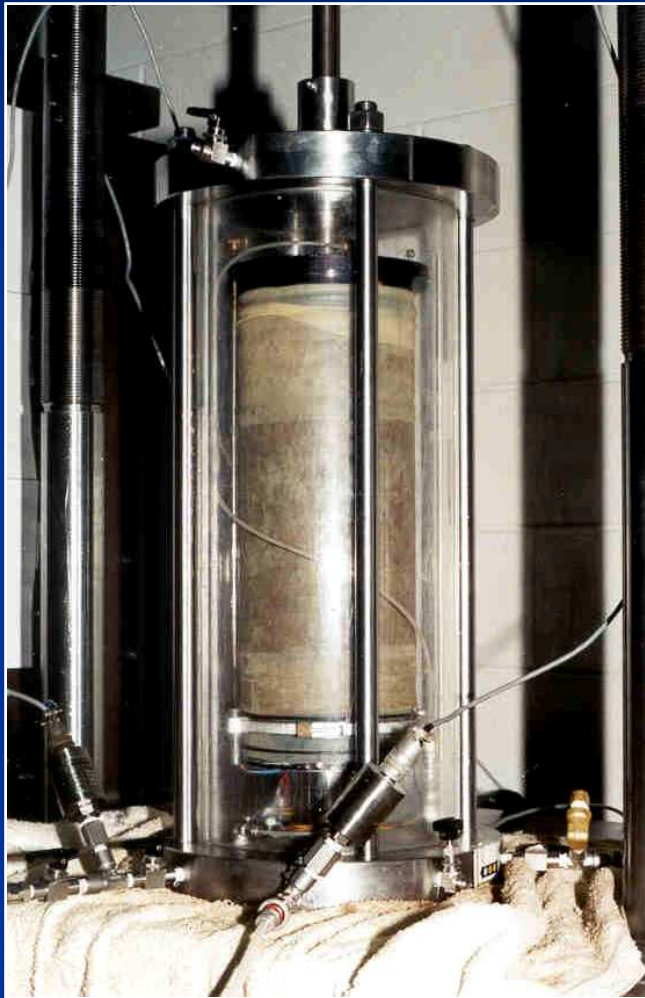
- K - Theta (granulaire):

- $M_R = K_1 \theta^{K_2}$

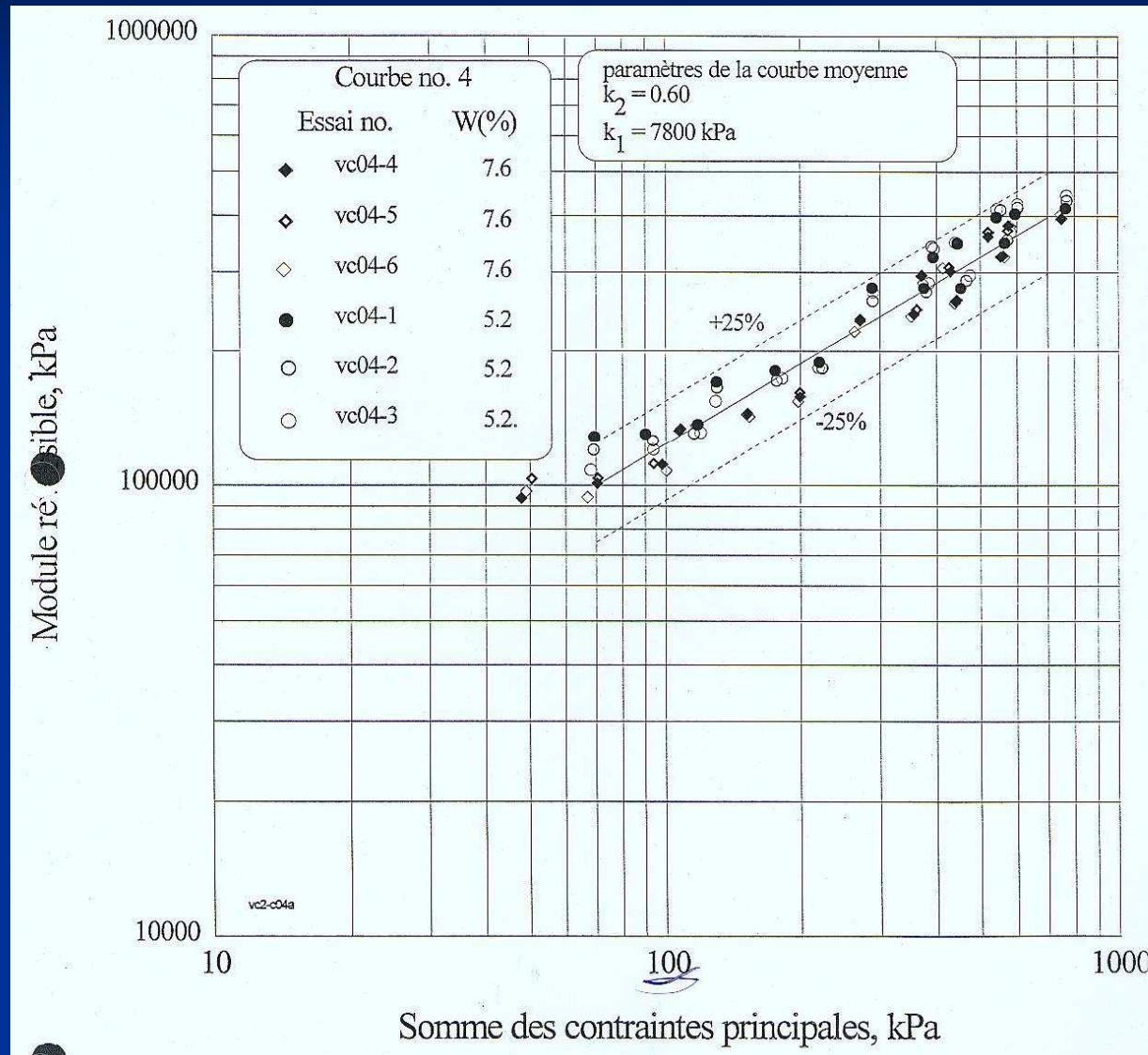
- Élastique (sols):

- $M_R = K_1$

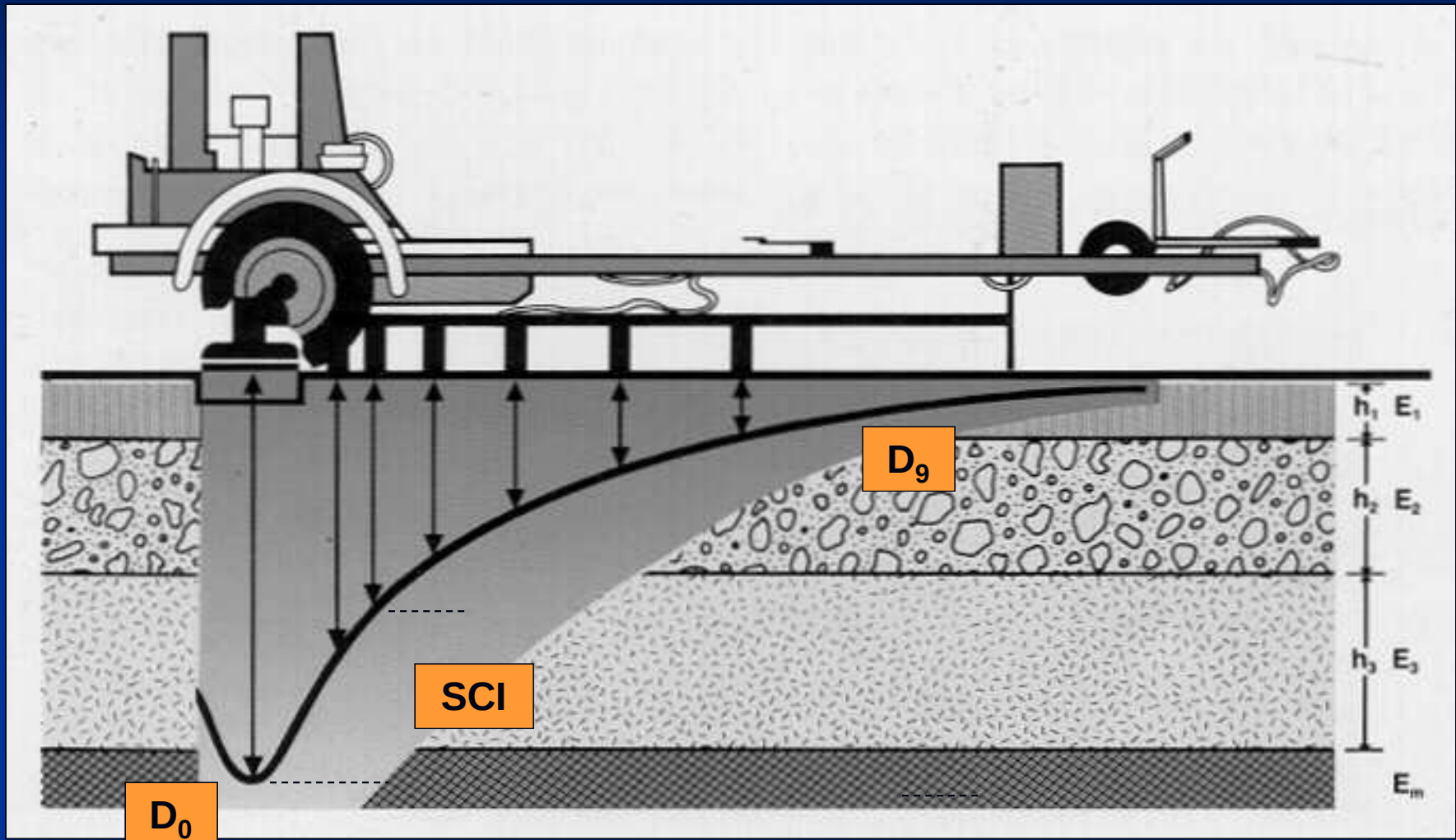
# Mx granulaires et sols: essai triaxial



# MG 20 granitique (Valcartier)

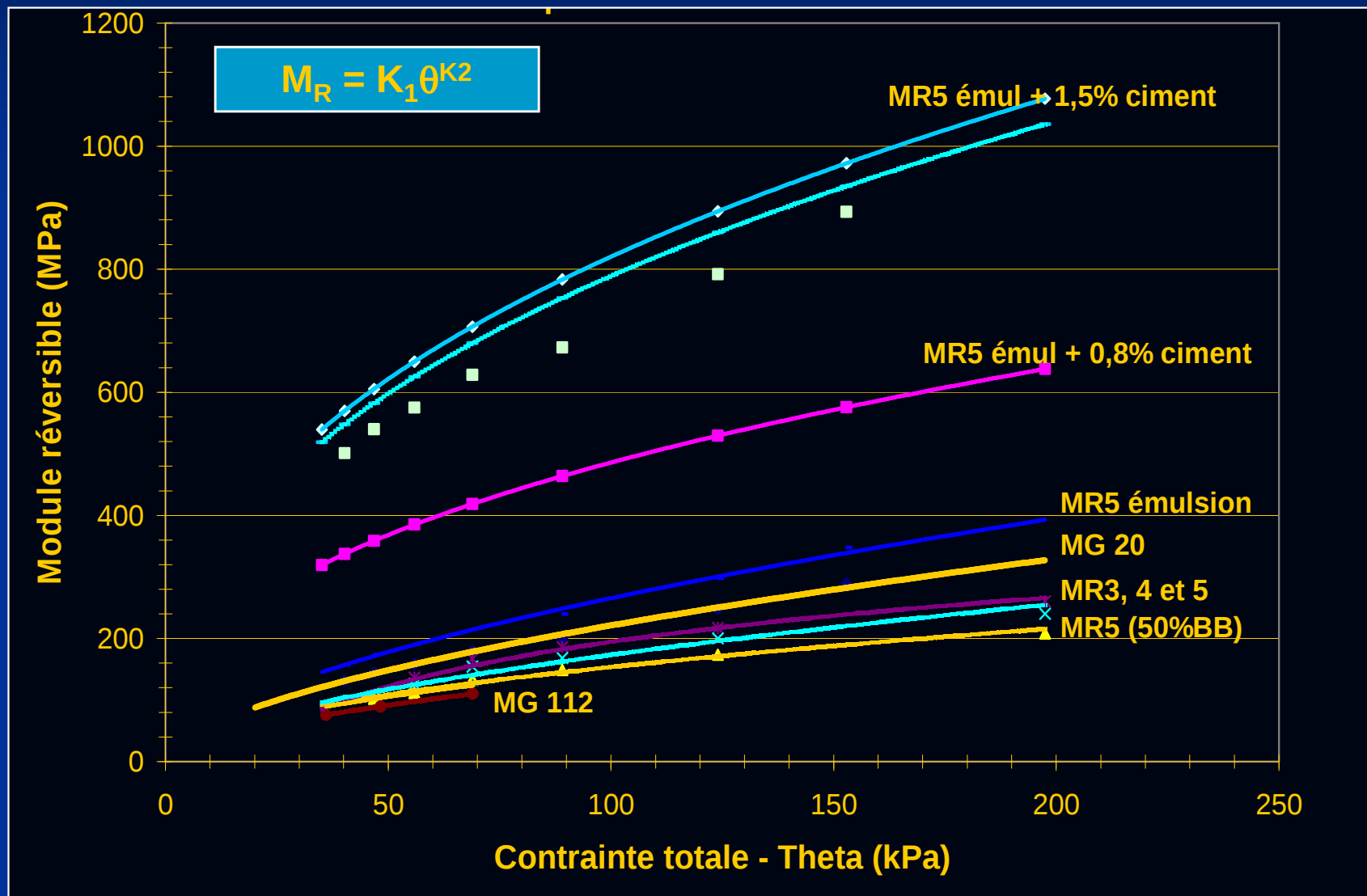


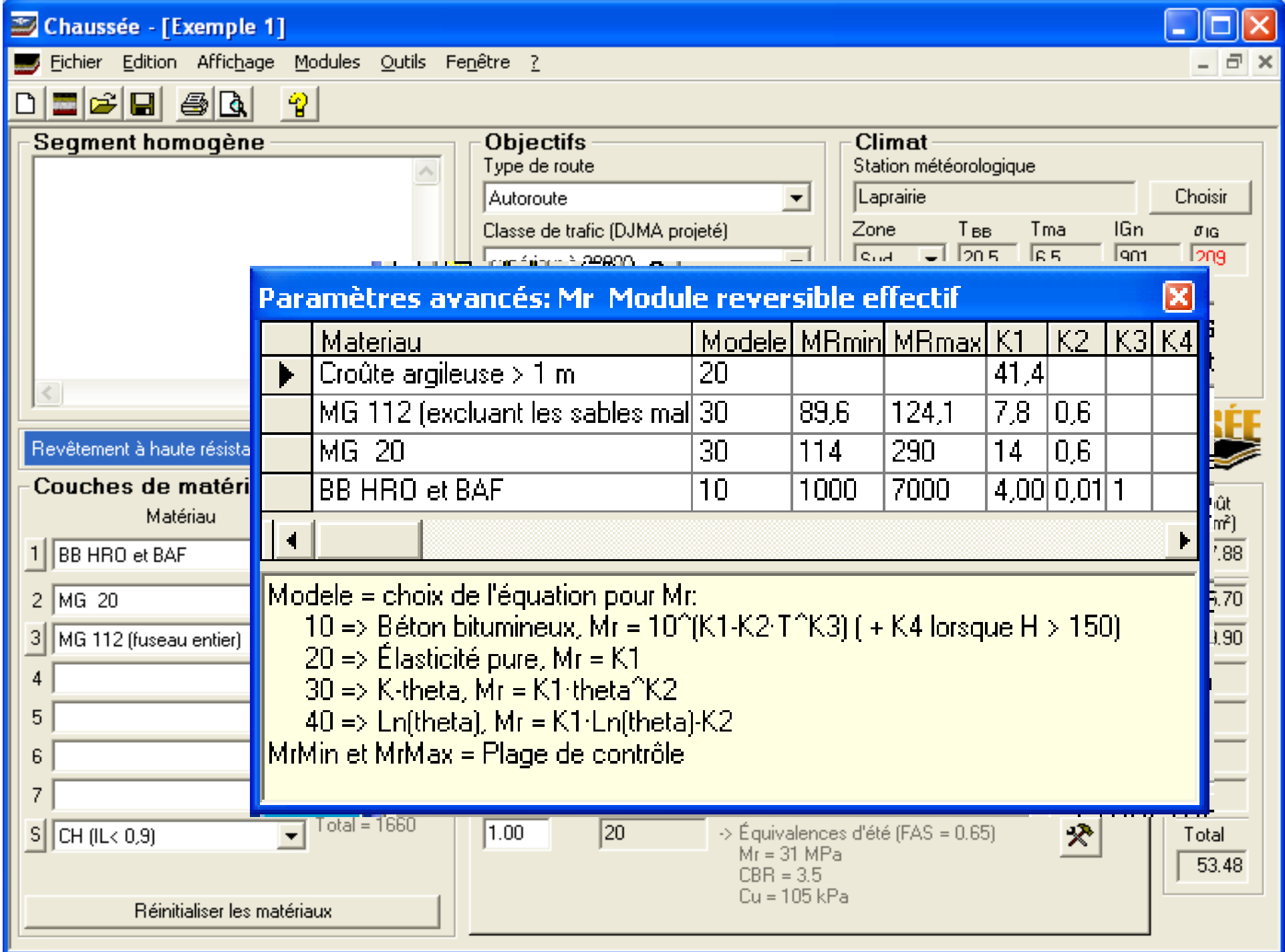
# Essais FWD



# Modules réversibles

Étalonnés pour la méthode de l'AASHTO





# Variations saisonnières : Matériaux granulaires : Paramètre « m »

« m » ft (Pente, perméabilité, Période de saturation, largeur des voies, fossés, épaisseur etc...)

Appendice DD, AASHTO.

### Climat

Station météorologique  
Laurierville Choisir

|      |                 |                 |                 |                 |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Zone | T <sub>BB</sub> | T <sub>ma</sub> | IG <sub>n</sub> | σ <sub>IG</sub> |
| Sud  | 20,5            | 4,4             | 1203            | 226             |

Simulation Climat PR 10 IG 1492

n 1,0 IGs 1492

Revêtement à haute résistance à l'orniérage requis

### Couches de matériaux

|   | Matériau                     | H (mm) |
|---|------------------------------|--------|
| 1 | BB HRO                       | 170    |
| 2 | BB fissuré                   | 150    |
| 3 | MG 20                        | 275    |
| 4 | MG 112 (fuseau entier)       | 500    |
| 5 |                              |        |
| 6 |                              |        |
| 7 |                              |        |
| 8 | SC fin (plus de 30 % passer) |        |

Total = 1095

Réinitialiser les matériaux

### STRUCTURAL | GEL | GEL (1994)

| F Mr | Mr effectif (MPa) | a (po <sup>-1</sup> ) | m   | SN   | W18 (en millions) | Coût (\$/m²) |
|------|-------------------|-----------------------|-----|------|-------------------|--------------|
| 1,00 | 3592              | 0,47                  | 1,0 | 3,15 | 775,539           | 23,97        |
| 1,00 | 1366              | 0,3                   | 1,0 | 4,9  | 38,767            | 0,00         |
| 1,00 | 110               | 0,07                  | 0,8 | 5,51 | 34,893            | 5,23         |
| 1,00 | 74                | 0,08                  | 0,8 | 6,69 | 29,382            | 4,50         |
|      |                   |                       |     |      |                   |              |
|      |                   |                       |     |      |                   |              |
|      |                   |                       |     |      |                   |              |
| 1,00 | 36                |                       |     |      |                   |              |

Total 33,70

**CHAUSSEE**

# Enrobé : Stabilité Marshall (années 90)

## ■ Enrobé bitumineux conventionnel

■ Ancienne exigence = 6,7 kN

■ Valeurs usuelles = 9-11 kN

(MB-20, MB-16, MB-12.5, MB-10)

■ Exigence norme 4201=9kN

(EB-20, EB-14, EB-10, EB-5)

Calculs avec  $S = 9 \text{ kN}$

$$Mr_{20^{\circ}\text{C}} = 10^{(0,07737 \cdot S + 4,959)} / 145 \approx 3000 \text{ MPa}$$

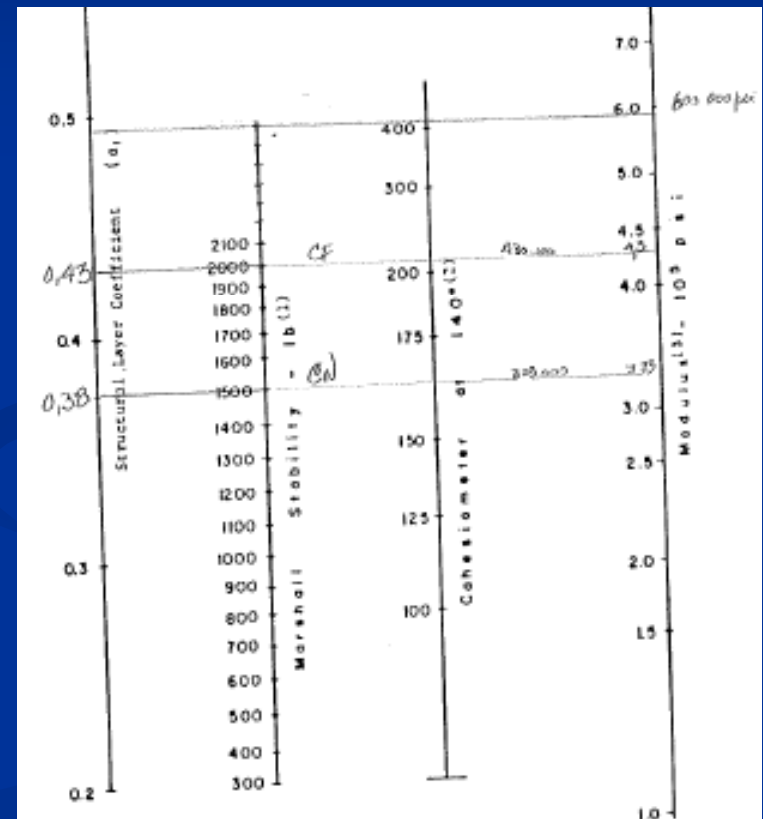
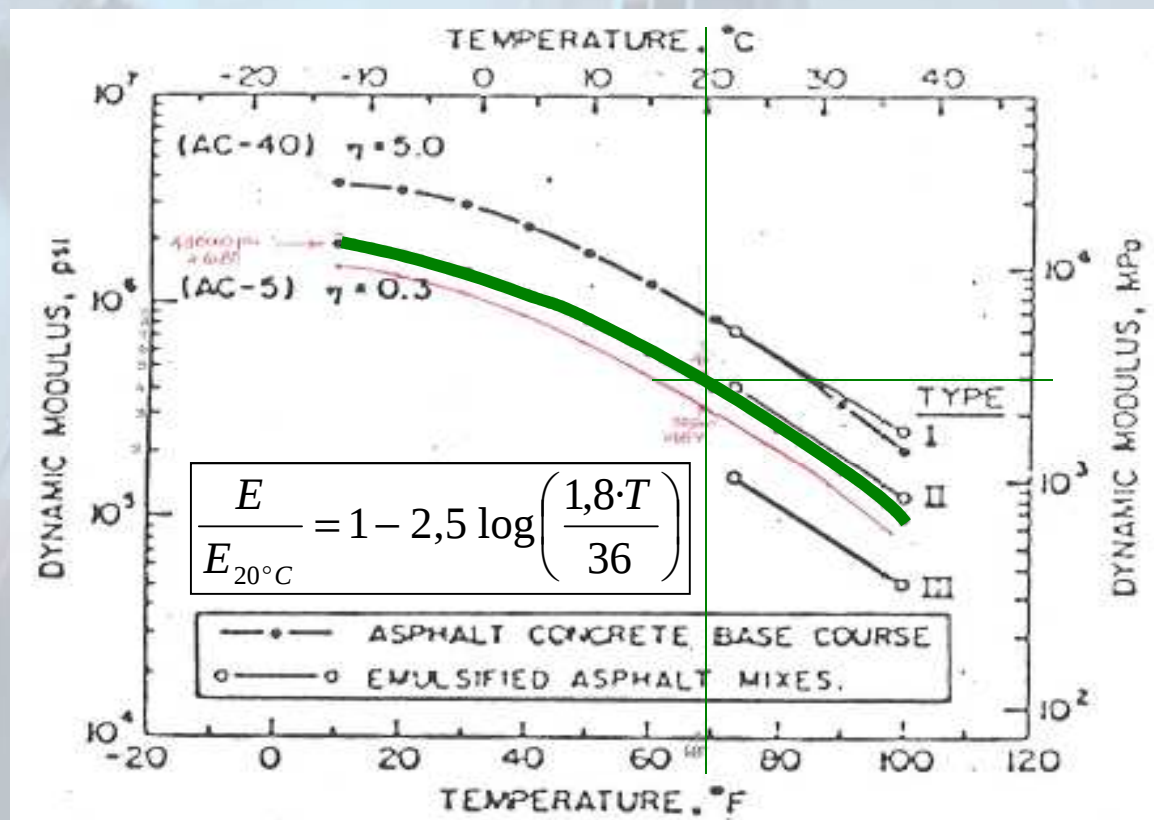


Figure 23. Variation in  $a_1$  with surface course strength parameter.



# Module vs température



Température au tiers de la couche (formule de Witczak, 1972):  
(en po et °F)

$$T_{pav} = T_{air} \left( 1 + \frac{1}{z+4} \right) - \frac{34}{z+4} + 6$$

Transports

Québec





# Variations saisonnières (BB)

## Exemple Montréal-Dorval

$z = 100 \text{ mm} / 3$

$M_r = 3000 \text{ MPa à } 20^\circ\text{C}$

| Mois      | Tair  | Tpav        |
|-----------|-------|-------------|
| Janvier   | -10.2 | -9.0        |
| Février   | -9    | -7.6        |
| Mars      | -2.5  | 0.2         |
| Avril     | 5.7   | 9.9         |
| Mai       | 13    | 18.6        |
| Juin      | 18.3  | 24.9        |
| Juillet   | 20.9  | 28.0        |
| Août      | 19.6  | 26.4        |
| Septembre | 14.8  | <b>20.7</b> |
| Octobre   | 8.7   | 13.5        |
| Novembre  | 2     | 5.5         |
| Décembre  | -6.9  | -5.1        |

| $M_r$       | FF    | FF · $M_r$ |
|-------------|-------|------------|
| 13352       | 0.07  | 965        |
| 13352       | 0.07  | 965        |
| 13352       | 0.07  | 965        |
| 5291        | 0.44  | 2304       |
| 3241        | 1.13  | 3653       |
| 2290        | 2.21  | 5063       |
| 1909        | 3.15  | 6009       |
| 2094        | 2.63  | 5508       |
| <b>2886</b> | 1.41  | 4074       |
| 4289        | 0.65  | 2807       |
| 7205        | 0.24  | 1724       |
| 13352       | 0.07  | 965        |
| Somme       | 12.15 | 35005      |

$M_{r\_eq}$  **2882 Mpa**  
 $a_1$  0.43

$$FF = 10^{11,061 - 1,941 \cdot \log(145 \cdot M_r)}$$

Méthode du rapport FHWA-RD-80 (Von Quintus et al. 1980, Basma et Al-Suleiman 1991)

Transports

Québec



# Compilation sur plusieurs sites

## ■ Moyenne zone sud:

- $a_1 = 0,43$  ( $< 150$  mm)
- $a_1 = 0,44$  ( $> 150$  mm)

## ■ Moyenne zone nord:

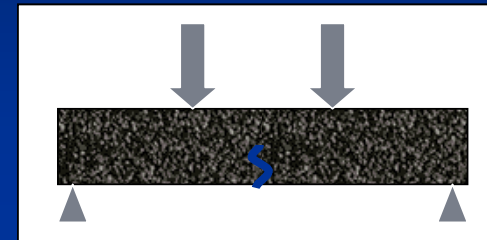
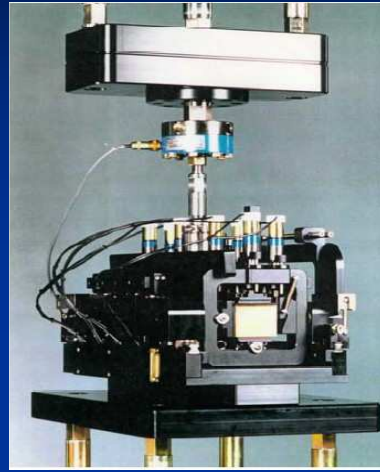
- $a_1 = 0,47$  ( $< 150$  mm)
- $a_1 = 0,48$  ( $> 150$  mm)

## ■ Bitumes polymères, Enrobés HRO

- Stabilités env. 30% plus élevées
- Appliqué uniquement sur la couche de surface
- $a_1 = 0,47$  zone Sud , 0,49 zone Nord

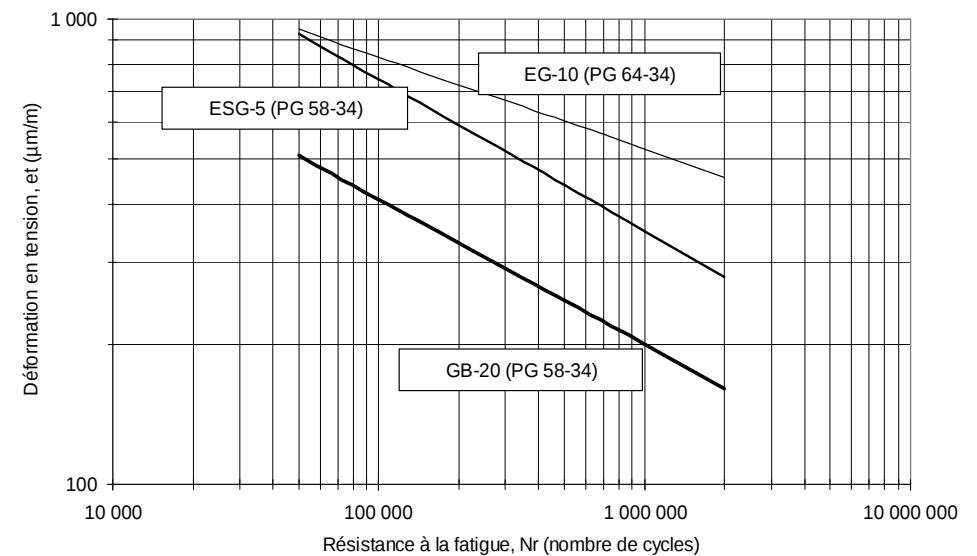
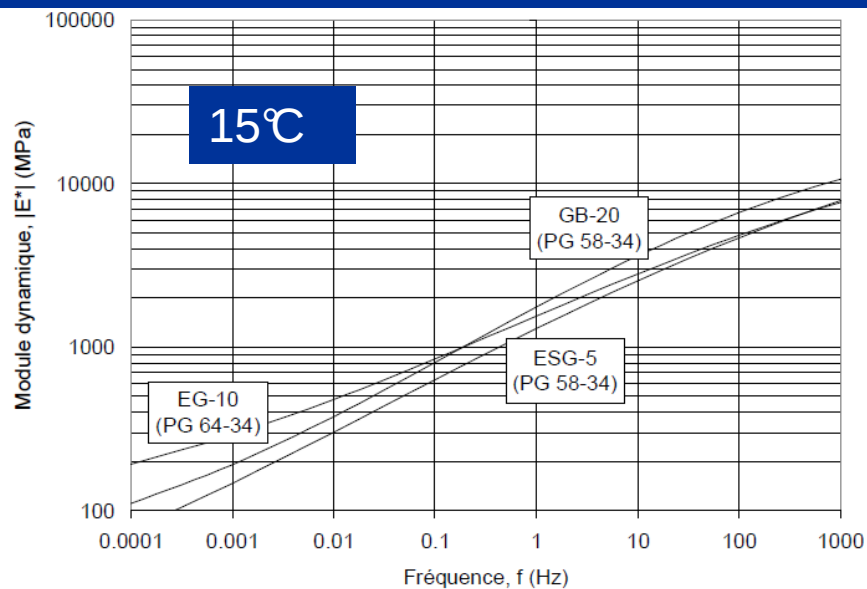
| Type de route            | Débit de circulation** |                   | Couche de roulement |           |           |                |   |                 |
|--------------------------|------------------------|-------------------|---------------------|-----------|-----------|----------------|---|-----------------|
|                          | DIMA                   | ECAS annuel moyen | Bitume              |           |           | Gros granulats |   | Essais spéciaux |
|                          |                        |                   | Zone 1 PG           | Zone 2 PG | Zone 3 PG |                |   |                 |
| Autoroute                | $> 20\ 000$            | $> 1\ 000\ 000$   | 70-28               | 64-34     | S.O.      | 1              | a | Orniéreur, CPP  |
|                          | $< 20\ 000$            | $< 1\ 000\ 000$   | 70-28               | 64-34     | S.O.      | 1              | a | Orniéreur, CPP  |
|                          | $> 5\ 000$             | $> 500\ 000$      | 70-28               | 64-34     | S.O.      | 1              | a | Orniéreur, CPP  |
|                          | $< 5\ 000$             | $< 500\ 000$      | 70-28               | 64-34     | S.O.      | 2              | b | Orniéreur, CPP  |
| Nationale                | $> 20\ 000$            | $> 500\ 000$      | 70-28               | 64-34     | 58-34     | 1              | a | Orniéreur, CPP  |
|                          | $< 20\ 000$            | $< 500\ 000$      | 70-28*              | 64-34*    | 58-34     | 2              | b | Orniéreur*, CPP |
|                          | $> 5\ 000$             | $> 300\ 000$      | 64-28               | 58-34     | 58-34     | 2              | b | Orniéreur*, CPP |
|                          | $< 5\ 000$             | $< 300\ 000$      | 64-28               | 58-34     | 58-34     | 3              | c |                 |
| Régionale et collectrice | $> 20\ 000$            | $> 300\ 000$      | 70-28               | 64-34     | 58-34     | 2              | b | Orniéreur, CPP  |
|                          | $< 20\ 000$            | $< 300\ 000$      | 70-28*              | 64-34*    | 58-34     | 3              | b | Orniéreur*      |
|                          | $> 5\ 000$             | $> 150\ 000$      | 64-28               | 58-34     | 58-34     | 3              | b |                 |
|                          | $< 5\ 000$             | $< 150\ 000$      | 58-28               | 58-28     | 58-34     | 3              | c |                 |

# Flexion cyclique (1997-2006)



a) Module complexe

b) Résistance à la fatigue



# Base antifatigue ESG5

- Bitume ↑
- Module ↓
- Résistance en fatigue ↑
- Un calcul mécanisto-empirique permet de réduire le revêtement d'env. 10-15 mm pour une même espérance de vie
- Le coefficient structural (fonction du module) est le seul paramètre disponible dans la méthode AASHTO 1993.
  - 0,49 et 0,52 ont été introduits de façon à reproduire l'effet du calcul mécanisto-empirique



Revêtements > 200 mm.  
ESG 5  $\cong$  30-35% de l'épaisseur.

# Enrobé fissuré

| Couches de matériaux |                          |        | STRUCTURAL | GEL               | GE |
|----------------------|--------------------------|--------|------------|-------------------|----|
|                      | Matériau                 | H (mm) | F Mr       | Mr effectif (MPa) |    |
| 1                    | BB                       | 74     | 1,00       | 2894              |    |
| 2                    | ERF émuls. + 0,5% ciment | 100    | 1,00       | 1400              |    |
| 3                    | BB fissuré               | 85     | 0,95       | 1298              |    |
| 4                    | MG 20                    | 250    | 1,00       | 125               |    |
| 5                    | MG 112 (fuseau entier)   | 600    | 1,00       | 74                |    |

## Fissuration du revêtement

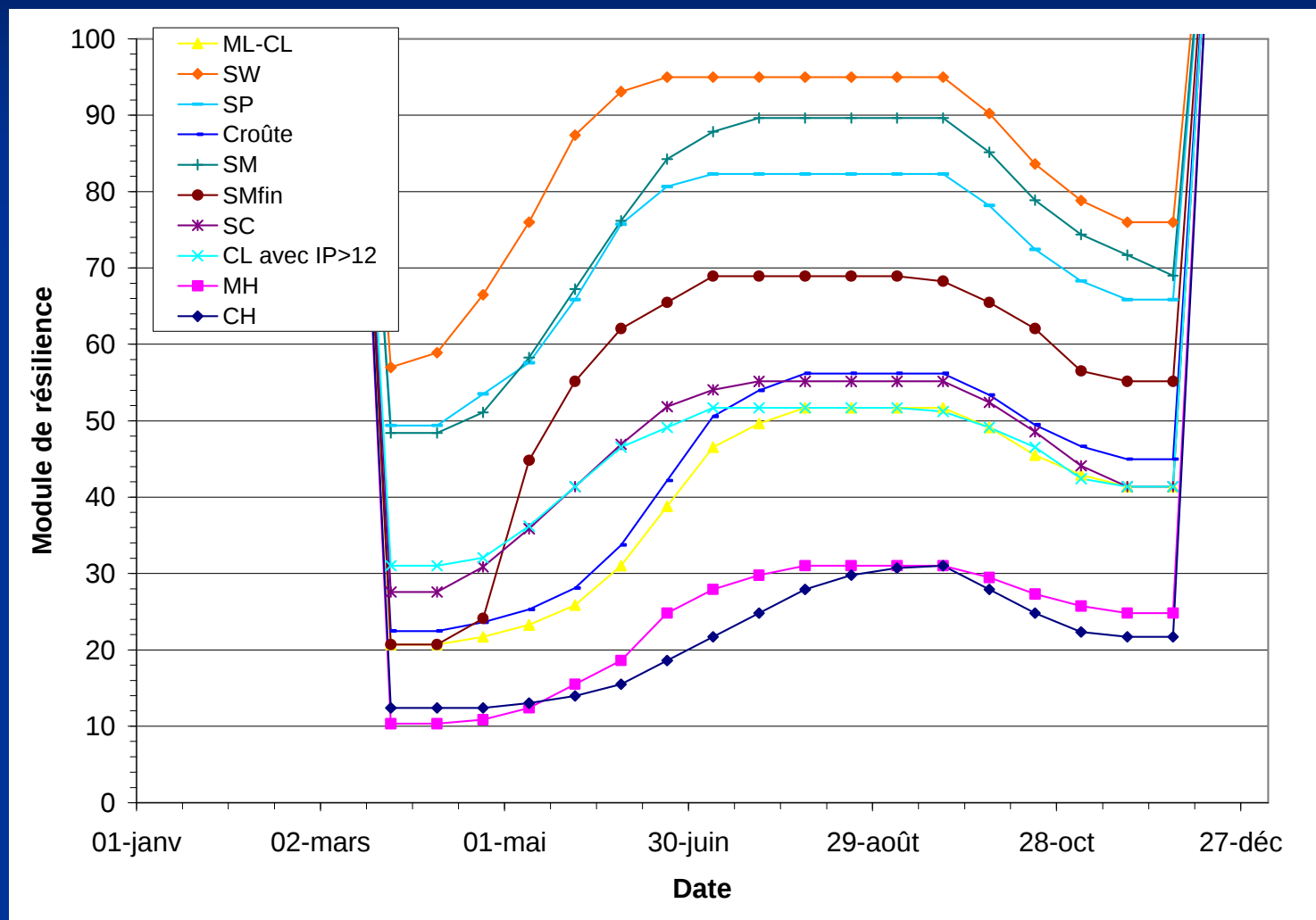
|                                                                                                                                                                  | Coefficient structural |                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------|
|                                                                                                                                                                  | Revêtement bitumineux  | Fondation stabilisée |
| Peu ou pas de carrelage<br>Fissuration transversale de faible sévérité                                                                                           | 0,35 à 0,40            | 0,20 à 0,35          |
| < 10 % carrelage de faible sévérité<br>< 1 fissure transversale tous les 6 m (sévérité moyenne et élevée)                                                        | 0,25 à 0,35            | 0,15 à 0,25          |
| > 10 % carrelage de faible sévérité<br>< 10 % fissuration de fatigue de sévérité moyenne<br>> 1 fissure transversale tous les 3-6 m (sévérité moyenne et élevée) | 0,20 à 0,30            | 0,15 à 0,20          |
| > 10 % carrelage de sévérité moyenne<br>< 10 % carrelage de sévérité élevée<br>> 1 fissure transversale tous les 3 m (sévérité moyenne et élevée)                | 0,14 à 0,20            | 0,10 à 0,20          |
| > 10 % carrelage de sévérité élevée<br>> 1 fissure transversale tous les 3 m (sévérité élevée)                                                                   | 0,08 à 0,15            | 0,08 à 0,15          |

# Variations saisonnières

- Matériaux granulaires et sols
  - Gel-dégel
  - Précipitations
  - Fonte (neige et lentilles de glace)
  - Position de la nappe phréatique

Pour tenir compte des variations annuelles, un dommage est attribué pour chaque période (module représentatif) et un module équivalent est attribué pour représenter la somme des dommages annuels

# Sols supports : variations saisonnières



# Mr effectif

- Méthode du dommage équivalent (AASHTO 1993)
  - $U_f = 1,18 \cdot 10^8 (145,05 \cdot M_r)^{-2,32}$
- Exemple pour :  
ML, ML-CL ou CL ( $IP \leq 12$ )
- Facteur d'ajustement saisonnier:
  - $FAS = 36,1 / 51,7 = 0,70$

| Mois                               | $M_r$ , MPa | $U_f$       |
|------------------------------------|-------------|-------------|
| Janvier                            | 140         | 0,01        |
|                                    | 140         | 0,01        |
| Février                            | 140         | 0,01        |
|                                    | 140         | 0,01        |
| Mars                               | 140         | 0,01        |
|                                    | 20,7        | 1,01        |
| Avril                              | 20,7        | 1,01        |
|                                    | 21,7        | 0,90        |
| Mai                                | 23,3        | 0,77        |
|                                    | 25,9        | 0,60        |
| Juin                               | 31,0        | 0,39        |
|                                    | 38,8        | 0,24        |
| Juillet                            | 46,5        | 0,15        |
|                                    | 49,6        | 0,13        |
| Août                               | 51,7        | 0,12        |
|                                    | 51,7        | 0,12        |
| Septembre                          | 51,7        | 0,12        |
|                                    | 51,7        | 0,12        |
| Octobre                            | 49,1        | 0,14        |
|                                    | 45,5        | 0,16        |
| Novembre                           | 42,9        | 0,19        |
|                                    | 41,4        | 0,20        |
| Décembre                           | 41,4        | 0,20        |
|                                    | 140         | 0,01        |
| Somme :                            |             | 6,66        |
| Moyenne :                          |             | 0,28        |
| <b><math>M_r</math> effectif :</b> |             | <b>36,1</b> |

# Sols supports : variations saisonnières

| Type de sol                              | Module effectif<br>$M_r$ (MPa) | Ratio saisonnier<br>$M_{r\text{effectif}}/M_{r\text{normal}}$ |
|------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| CL, ML, CH, MH ( $I_L \geq 0,9$ )        | $\leq 20$                      | 0,60                                                          |
| CH, MH                                   | $\leq 20$                      | 0,64                                                          |
| CL ( $I_p \leq 12$ )<br>ML, ML-CL        | $\leq 36$                      | 0,70                                                          |
| CL ( $I_p > 12$ )                        | 47                             | 0,91                                                          |
| SC <sub>fin</sub>                        | 36                             | 0,84                                                          |
| SM <sub>fin</sub>                        | 45                             | 0,65                                                          |
| SC <sub>gros</sub>                       | 57                             | 0,84                                                          |
| SM-SC                                    | 62                             | 0,75                                                          |
| SW-SC, SP-SC                             | 66                             | 0,80                                                          |
| SM <sub>gros</sub>                       | 76                             | 0,85                                                          |
| Croûte argileuse ( $\geq 1,0$ m)         | 39                             | 0,70                                                          |
| SP, SW-SM, SP-SM<br>(idem MG-112 type B) | 74                             | 0,90                                                          |
| SP-SW                                    | 87                             | 0,91                                                          |

Revêtement à haute résistance à l'orniérage requis

| Couches de matériaux |                                     |              | STRUCTURAL | GEL               | GEI |
|----------------------|-------------------------------------|--------------|------------|-------------------|-----|
|                      | Matériau                            | H (mm)       | F Mr       | Mr effectif (MPa) |     |
| 1                    | BB                                  | 235          | 1,00       | 3743              |     |
| 2                    | MG 20                               | 200          | 1,00       | 114               |     |
| 3                    | MG 112 (excluant les sable)         | 1425         | 1,00       | 87                |     |
| 4                    |                                     |              |            |                   |     |
| 5                    |                                     |              |            |                   |     |
| 6                    |                                     |              |            |                   |     |
| 7                    |                                     |              |            |                   |     |
| 8                    | SC fin (plus de 30 % passant 80 µm) | Total = 1860 | 1,00       | 36                |     |

ML, ML-CL ( $I_L < 0,9$ )  
 Roc brisé  
 SC fin (plus de 30 % passant 80 µm)  
 SC grossier (moins de 30 % passant 80 µm)  
 SM fin (plus de 30 % passant 80 µm)  
 SM grossier (moins de 30 % passant 80 µm)  
 SP  
 SW

# Logiciel Chaussée 2 : Nouveautés

- Enrobé recyclé à froid ERF (émulsion avec 0,5% ciment)
- Dalles concassées par résonance (rubblizing)

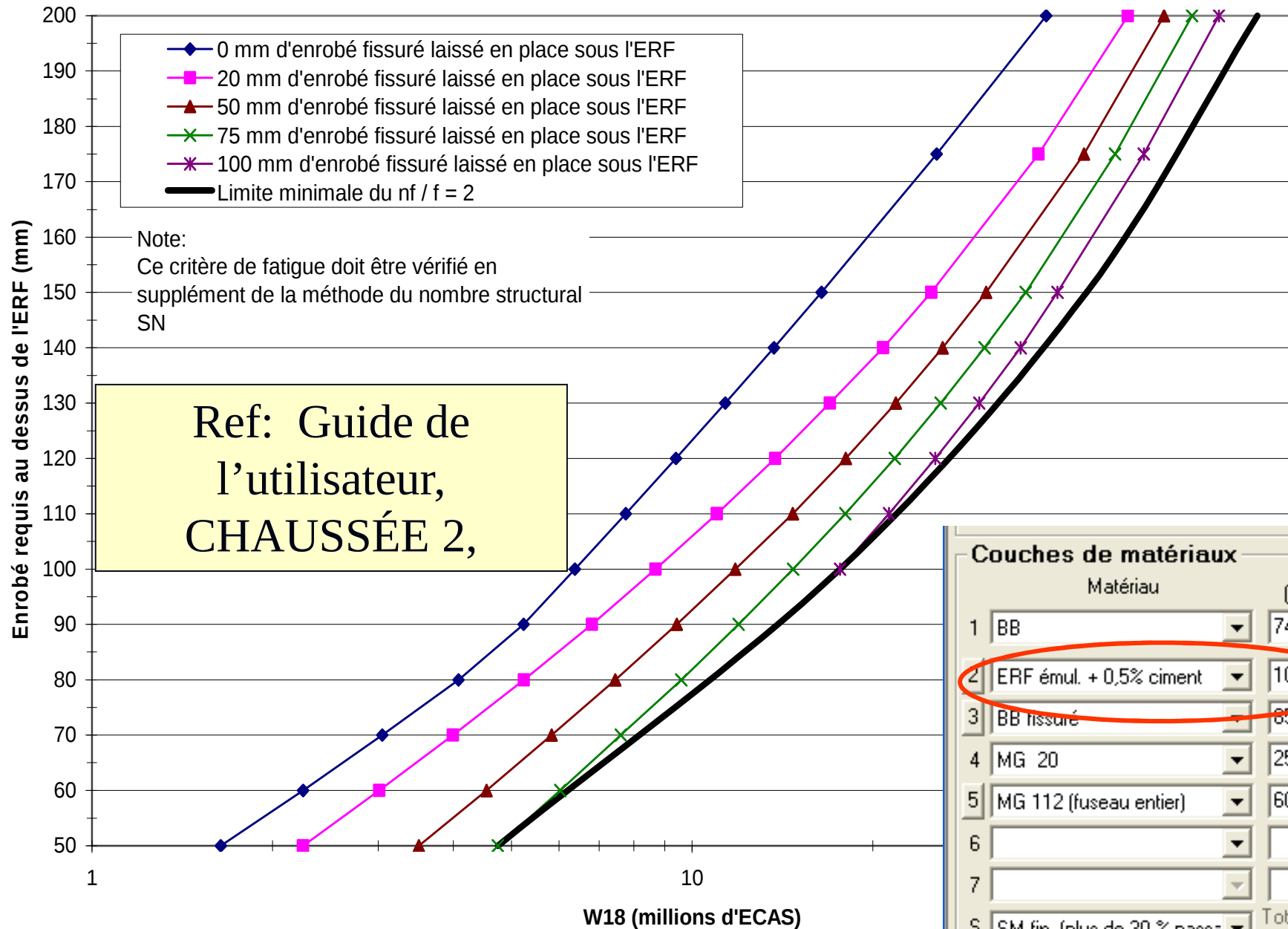


ERF



Rubblizing

## Fatigue de l'enrobé avec un recyclage à froid de 100 mm (Théorie des couches élastiques, interfaces bien collés)



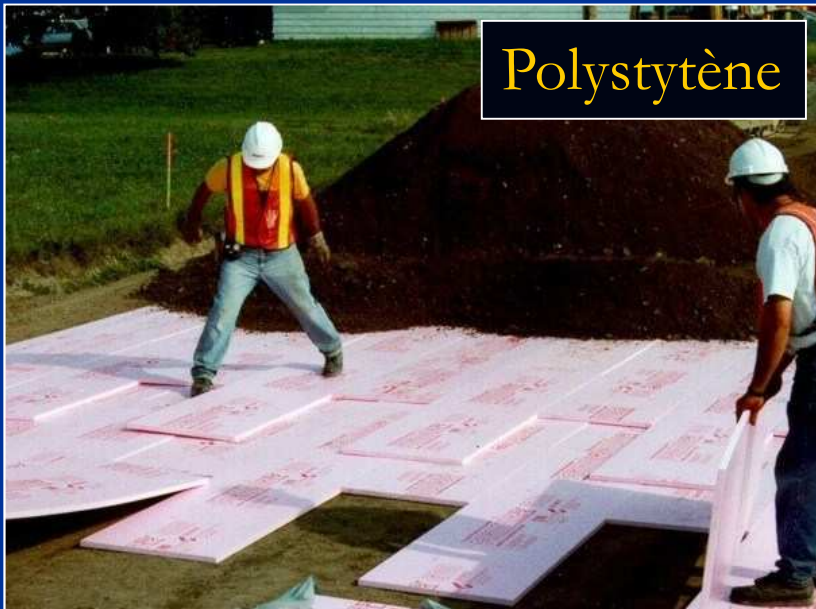
### Couches de matériaux

|   | Matériau                    | H (mm) |
|---|-----------------------------|--------|
| 1 | BB                          | 74     |
| 2 | ERF ém. + 0,5% ciment       | 100    |
| 3 | BB fissuré                  | 85     |
| 4 | MG 20                       | 250    |
| 5 | MG 112 (fuseau entier)      | 600    |
| 6 |                             |        |
| 7 |                             |        |
| 8 | SM fin (plus de 30 % passe) |        |

Total = 1109

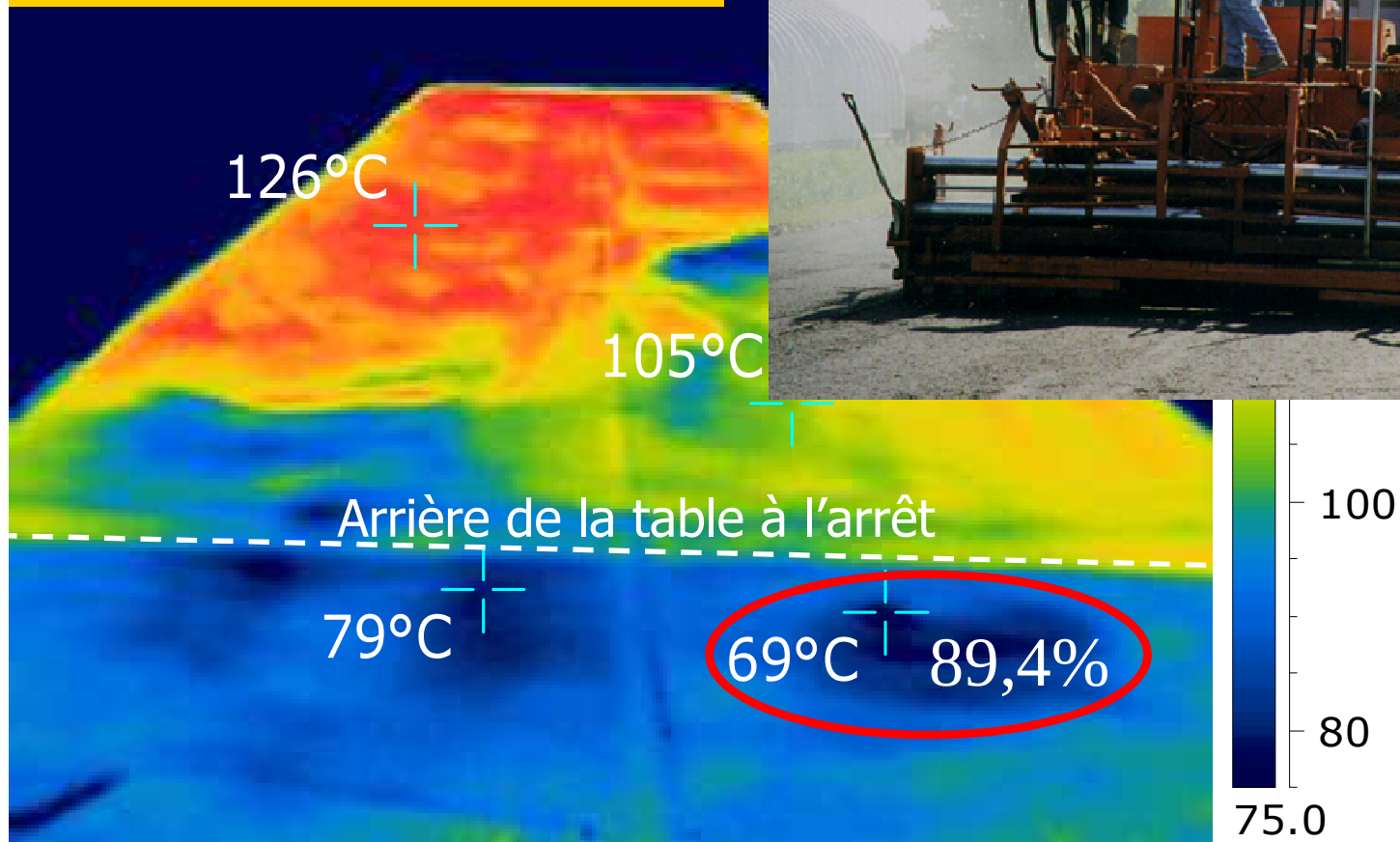
# Logiciel Chaussée 2

- Nouveaux matériaux
  - Polystyrène extrudé (thermique)
  - Polystyrène expansé (thermique)
  - Géosynthétiques

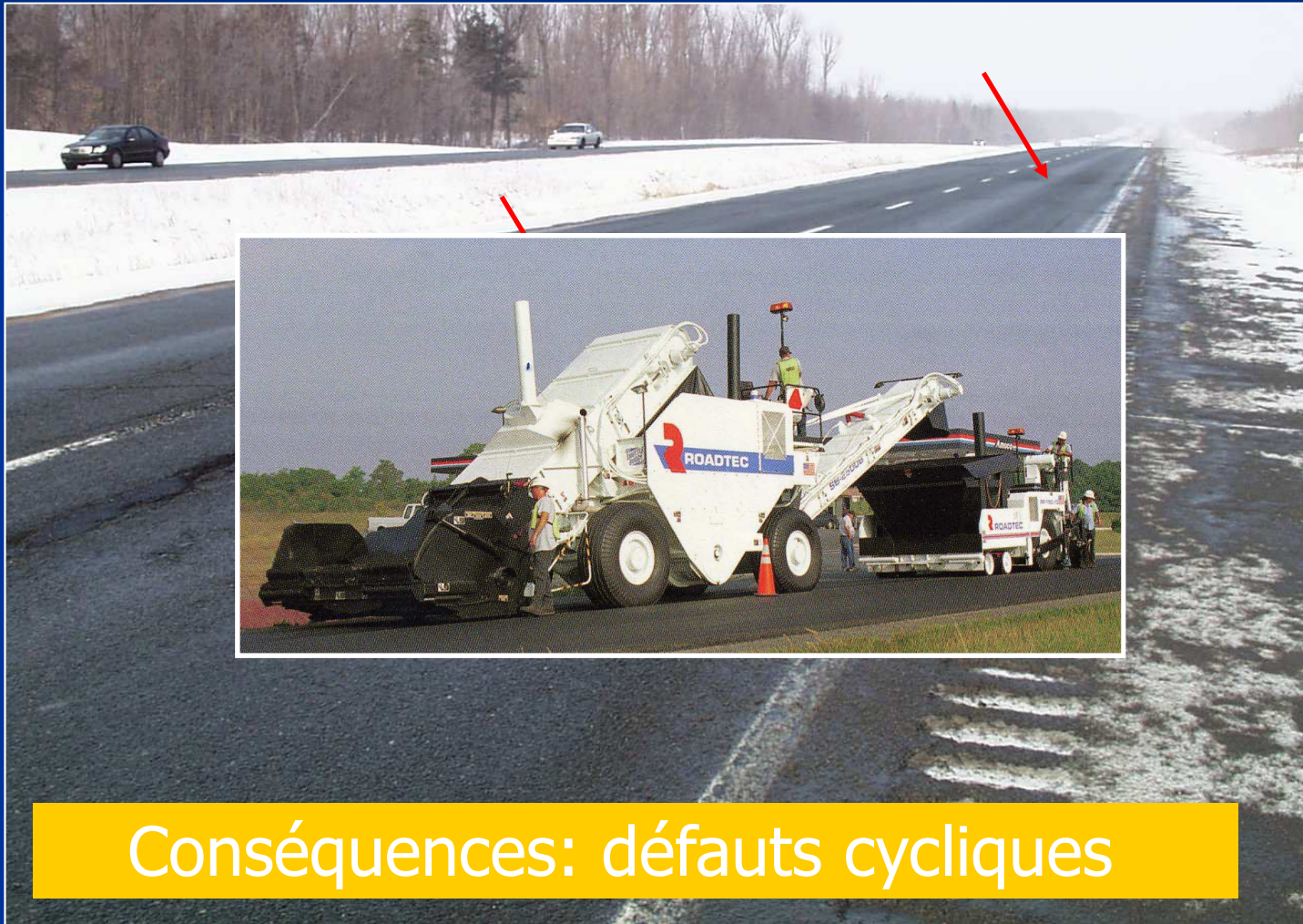


# Durée de vie → Mise en œuvre

Arrêts de finisseur:  
zone refroidie et non  
compactée



# Durée de vie → Mise en œuvre



Conséquences: défauts cycliques

# Ségrégation thermique longitudinale (STL) → fissures



# Durée de vie → Mise en œuvre

