

MINISTÈRE DES TRANSPORTS, DE LA MOBILITÉ DURABLE  
ET DE L'ÉLECTRIFICATION DES TRANSPORTS

# Conception des chaussées souples au Québec

État de situation (climat, matériaux, trafic)

Colloque de l'AQTR – Point de mire sur les  
travaux de la DLC

Trois-Rivières, le 13 décembre 2016

**ENSEMBLE**    
*on fait avancer le Québec*

Denis St-Laurent, ing. M.Sc.  
Service des chaussées

**Québec**  

# Conception des chaussées souples

- Nombre
- Type
- Évolution



Trafic



- Entretien Préventif
- Drainage

Techniques Équipements

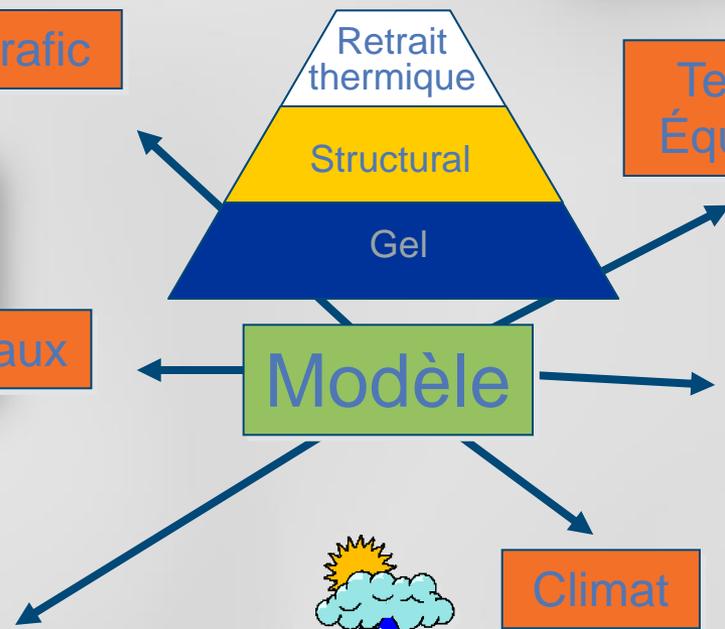


Matériaux

- Uniformité
- Comportement
- Évolution

Sol support

- Variabilité
- Variations saisonnières
- Niveau d'eau (saturation)



Mise en oeuvre



- Tolérance (épaisseur)
- Méthode de travail
- Équipements
- Contexte

Climat



- Variations
- Représentativité
- Événements extrêmes

# État de la situation

## Situation générale

- Norme Ouvrages routiers (Tome II, chapitre 2)
- Logiciel Chaussée 2
  - ❑ Structural: méthode empirique de l'AASHTO 1993
  - ❑ Gel: protection partielle empirique (Gel 94) et simulation thermique (SSR)
- Sélection des composants des enrobés (résister aux fiss. transversales et ornières)

## Situations particulières

- Chaussées en gravier → Guide d'utilisation des géosynthétiques...
- Remblais légers → Abaques de conception
- Relevés de déflexion → Logiciel mécanisto-empirique Elmod, méthode AASHTO 1993
- Analyses spécifiques → Outils mécanisto-empiriques WinJulea/Viem/NRCLayer...

## Perspectives d'avenir (La méthode mécanisto-empirique)

Tableau 2.5-3

Épaisseur de revêtement en enrobé requis sur matériaux naturels ou recyclés MG 20

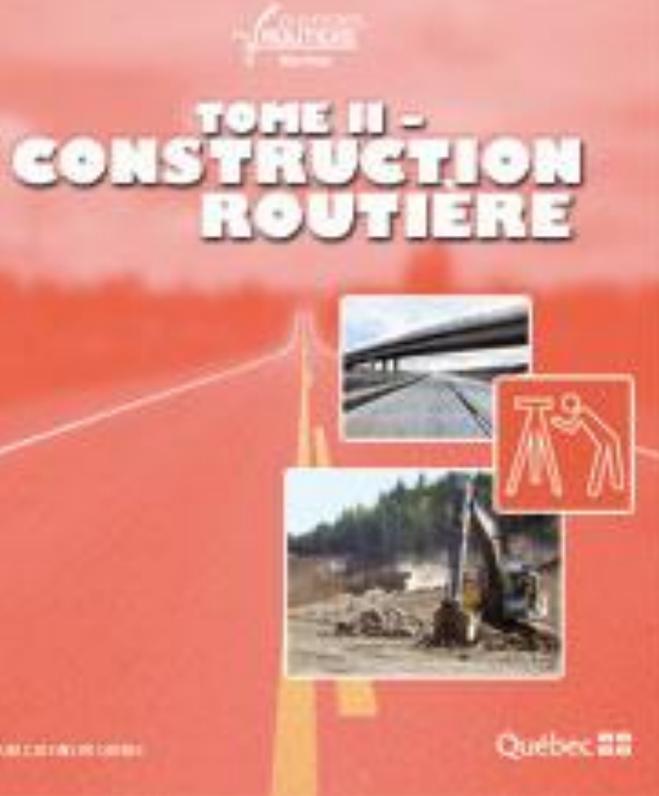
Classification de la route	DJMA projeté <sup>(1)</sup> (y compris 10% de véhicules lourds)	Zone sud <sup>(2)</sup>			Zone nord <sup>(2)</sup>		
		Épaisseur d'enrobé requise (mm) sur fondation de type <sup>(3)</sup>			Épaisseur d'enrobé requise (mm) sur fondation de type <sup>(3)</sup>		
		Granulats naturels ou MR 1 ou MR 2	MR 3 ou MR 4	MR 5	Granulats naturels ou MR 1 ou MR 2	MR 3 ou MR 4	MR 5
Locale	< 500	75	80	90	70	75	85
	500-1000	90	95	105	80	90	100
	1000-2000	105	115	125	100	110	115
	> 2000	115	130	135	110	120	125
Collectrice et régionale	< 1000	100	110	120	95	100	110
	1000-2000	120	130	140	110	120	130
	2000-3000	135	145	155	125	135	145
	3000-4000	150	155	165	135	150	155
Nationale	< 1000	110	120	130	105	115	120
	1000-2000	130	140	150	120	130	140
	2000-3000	140	155	160	130	145	150
	3000-4000	150	160	170	140	150	155
	4000-5000	155	165	175	145	155	165

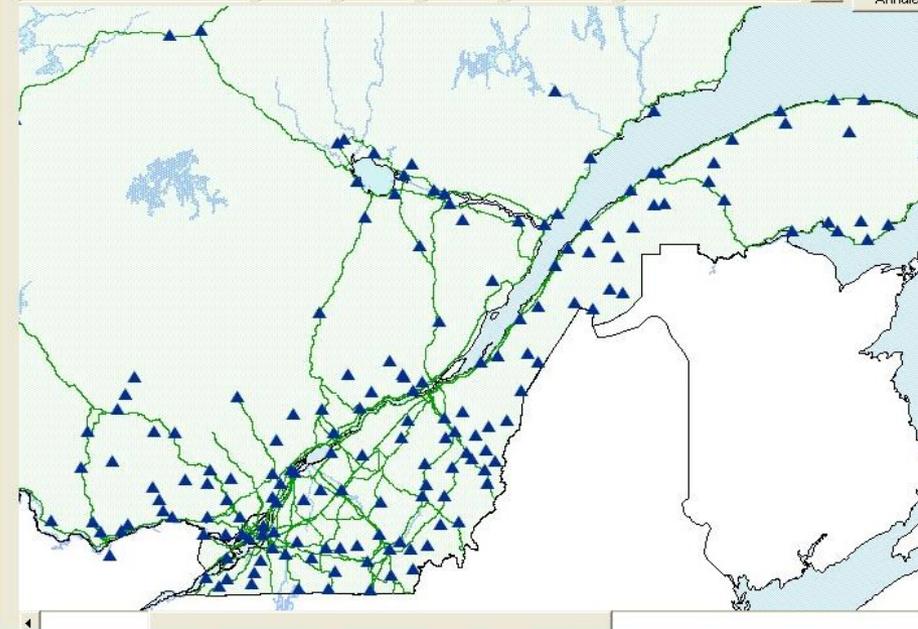
1. Le DJMA projeté à utiliser dans le tableau doit être corrigé au préalable en suivant les étapes décrites au tableau 2.5-4 lorsque l'un des cas suivants se présente :

- il y a plus de 10% de véhicules lourds sur la route;
- le trafic lourd est inégalement réparti sur les voies;
- la chaussée est fortement sollicitée (exploitation forestière, carrière, etc.).

2. Les zones sud et nord sont délimitées à la figure 2.5-1.

3. Lorsque des matériaux naturels sont utilisés, ces derniers doivent répondre aux exigences de la norme BNQ 2560-114 « Travaux de génie civil – Granulats », et ce, après la mise en œuvre. Dans le cas où des matériaux recyclés sont utilisés, ils doivent répondre aux exigences d'un matériau des types MR 1 à MR 5, comme il est décrit dans la norme NQ 2560-600 « Granulats – Matériaux recyclés fabriqués à partir de résidus de béton, d'enrobés bitumineux et de briques – Classification et caractéristiques ».





Chaussée - [1-Nouvelle route]



Segment homogène

Empty text area for segment description.

Objectifs

Type de route: Autoroute  
 Classe de trafic (DJMA projeté): supérieur à 20000  
 Années: 30 | ÉCAS (millions): 30.0 |  Outil ÉCAS  
 BB reporté à l'an prochain: 0 mm

Résumé: Revêtement à haute résistance à l'orniérage requis

Couches de matériaux

	Matériau	H (mm)	
1	BB HRD	260	
2	MG 20	240	
3	MG 112 (fuseau entier)	600	
4			
5			
6			
7			
8			
9	Croûte argileuse > 1 m		Total = 1100

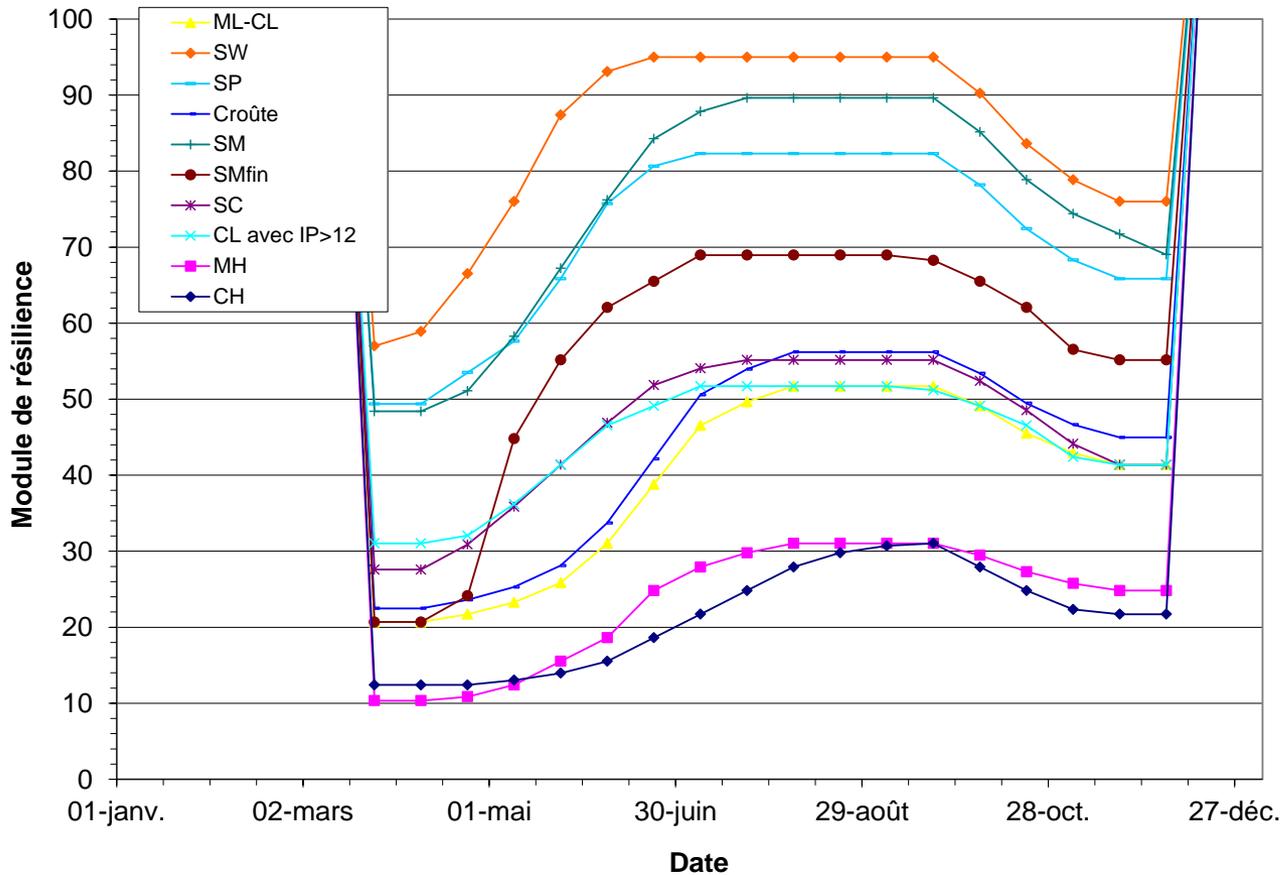
Réinitialiser les matériaux



STRUCTURAL | GEL | GEL (1994)

F Mr	Mr effectif (MPa)	a (po <sup>-1</sup> )	m	SN	W18 (en millions)	Coût (\$/m <sup>2</sup> )
1.00	3592	0.47	1.0	4.82	34.338	36.66
1.00	110	0.07	0.8	5.34	28.065	4.56
1.00	74	0.08	0.8	6.77	38.633	5.40
1.00	39	-> Équivalences d'été (FAS = 0.7) Mr = 56 MPa CBR = 8.2				
						Total
						46.62

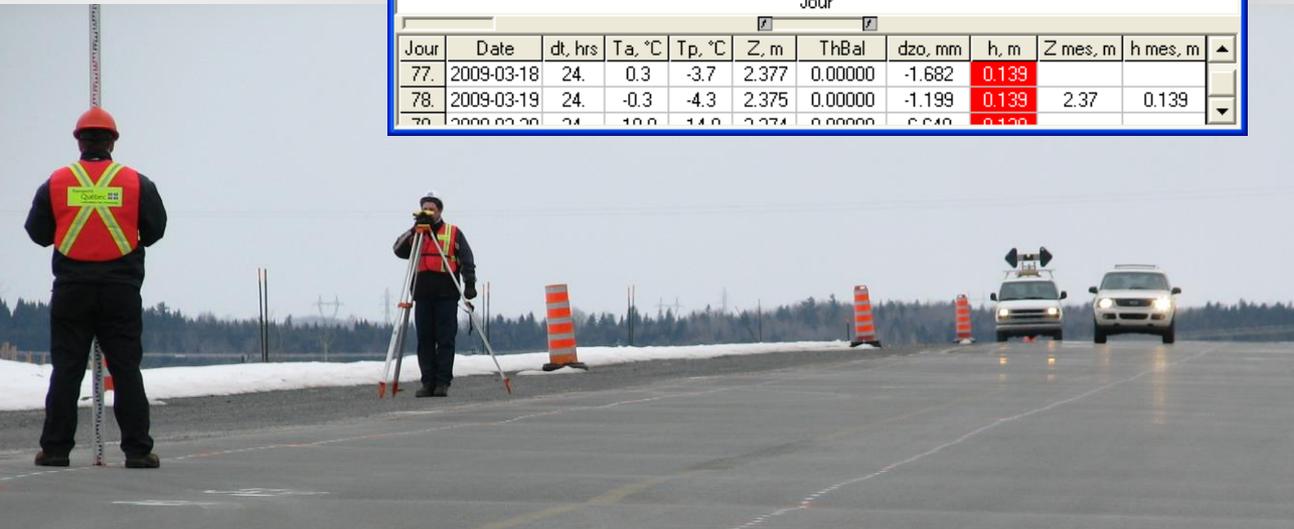
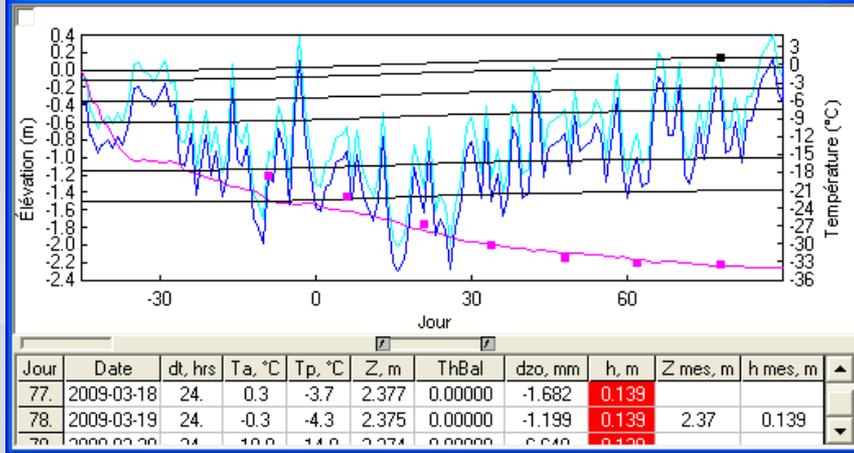
# Adaptation québécoise (portance des sols en fonction du climat)



Matériau: **SMfin**

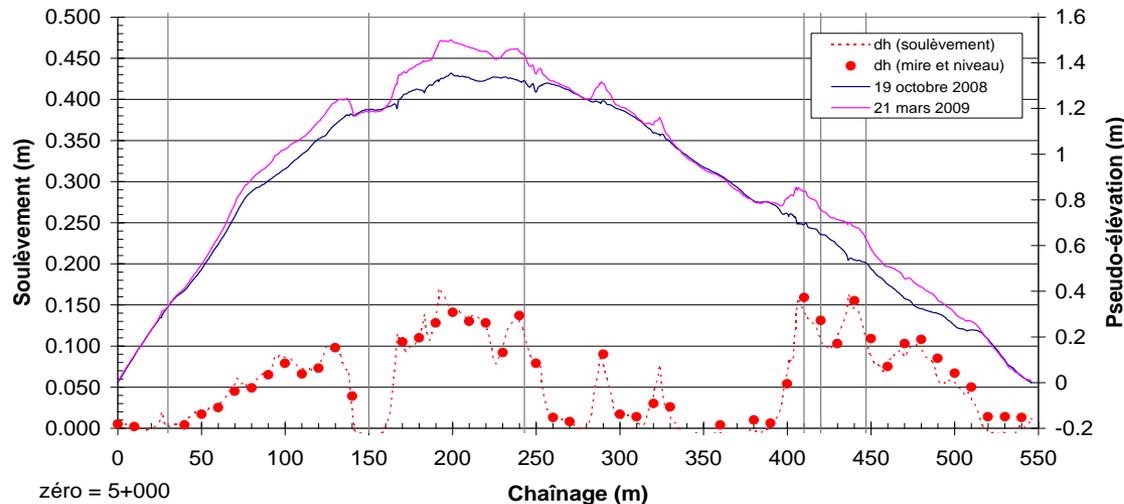
Mois	Mr, MPa	u <sub>f</sub>
Janvier	140	0.01
	140	0.01
Février	140	0.01
	140	0.01
Mars	140	0.01
	20.7	1.01
Avril	20.7	1.01
	24.1	0.71
Mai	44.8	0.17
	55.2	0.10
Juin	62.1	0.08
	65.5	0.07
Juillet	68.9	0.06
	68.9	0.06
Août	68.9	0.06
	68.9	0.06
Septembre	68.9	0.06
	68.3	0.06
Octobre	65.5	0.07
	62.1	0.08
Novembre	56.5	0.10
	55.2	0.10
Décembre	55.2	0.10
	140	0.01
Somme :		4.05
Moyenne :		0.17
<b>M<sub>r</sub> effectif :</b>		<b>44.8 MPa</b>

### 5+410\_étalonné - Gel et soulèvement



### Étude de la gélivité sur chaussée existante

Route 283 St-Paul-de-Montminy (direction nord)



Mesures du soulèvement au gel et rétro-calcul du potentiel de ségrégation (étalonnage du  $SP_0$ )

Gel – Méthode terrain satisfaisante.

Besoin identifié: Améliorer la correspondance entre le terrain et le laboratoire.

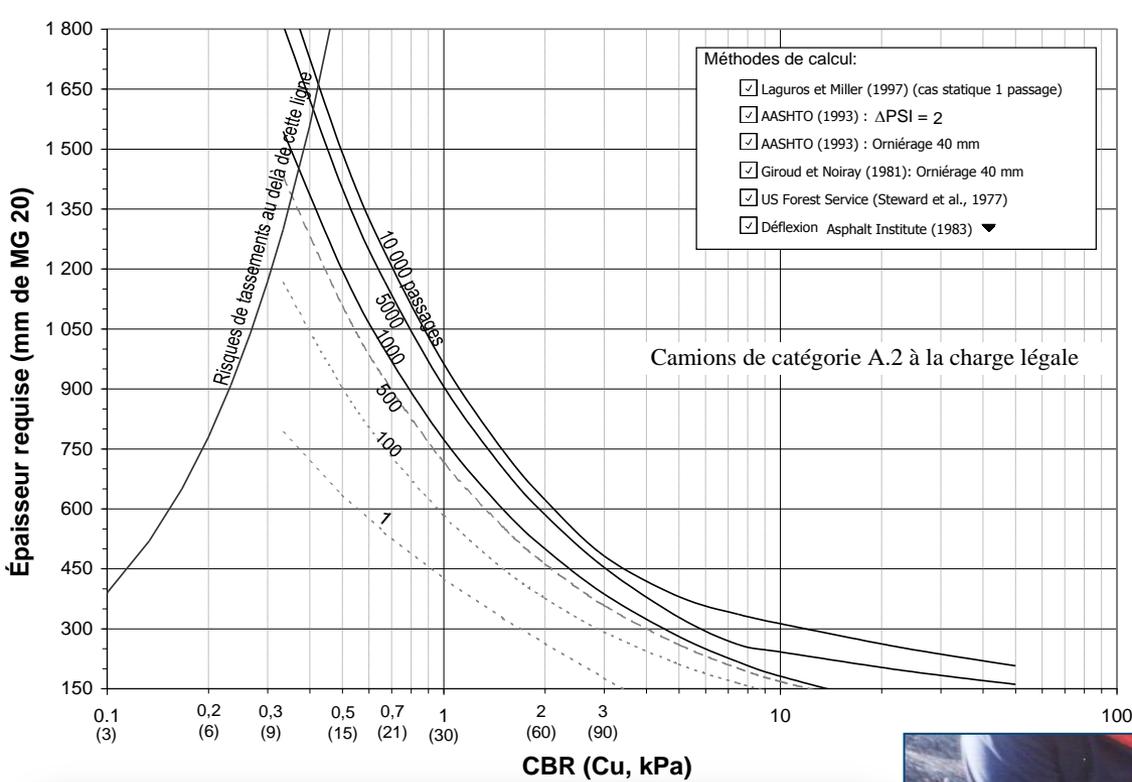
# Choix des composants des enrobés – Recommandations

## Construction neuve – Reconstruction ESG-10 – EG10<sup>1</sup> – EGM-10 – SMA-10 – ESG14<sup>2</sup> – GB-20

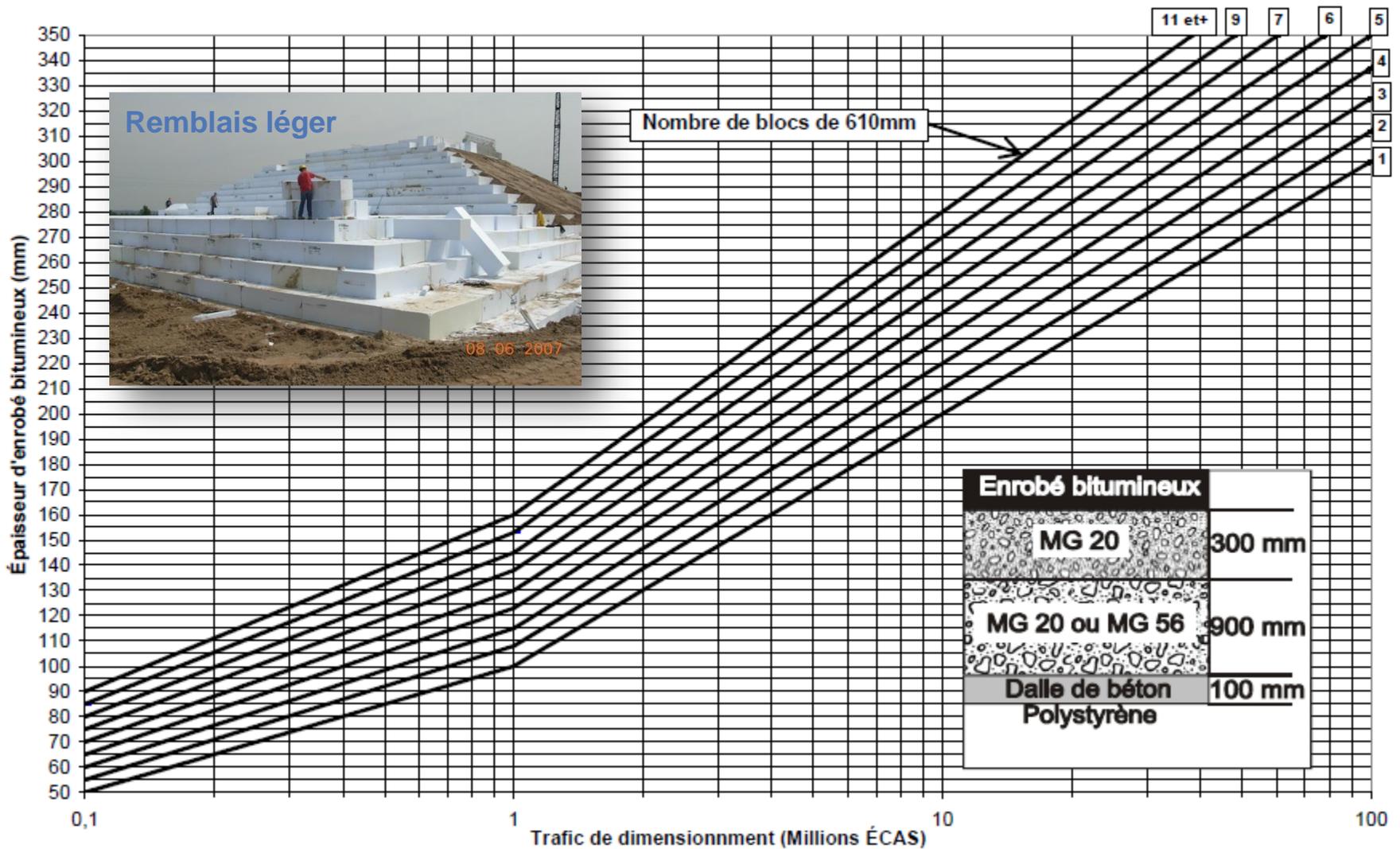
Type de route	Débit de circulation**		Couche de surface						Couche de base					
			Bitume			Catégories gros granulats	Catégorie granulats fins	Essais spéciaux	Bitume			Catégories gros granulats	Catégorie granulats fins	Essais spéciaux
	DJMA	ECAS annuel	Zone 1 PG	Zone 2 PG	Zone 3 PG				Zone 1 PG	Zone 2 PG	Zone 3 PG			
Autoroute	> 20 000	> 1 000 000	70-28	64-34	S.O.	1a	1	Orniéreur, CPP	64-28	64-34	S.O.	2c	1	Orniéreur
	< 20 000 > 5 000	< 1 000 000 > 500 000	70-28	64-34	S.O.	1a	1	Orniéreur, CPP	64-28	58-34	S.O.	3c	1	Orniéreur
	< 5 000	< 500 000	70-28	64-34	S.O.	2b	1	Orniéreur, CPP	64-28	58-34	S.O.	3c	2	Orniéreur
Nationale	> 20 000	> 500 000	70-28	64-34	58-40	1a	1	Orniéreur, CPP	64-28	58-34	52-40	3c	1	Orniéreur
	< 20 000 > 5 000	< 500 000 > 300 000	70-28* 64-28	64-34* 58-34	58-40	2b	2	Orniéreur, CPP	64-28	58-34	52-40	3c	2	Orniéreur
	< 5 000	< 300 000	64-28	58-34	58-40	3c	2		64-28	58-34	52-40	3c	2	
Régionale et collectrice	> 20 000	> 300 000	70-28	64-34	58-40	2b	1	Orniéreur, CPP	64-28	58-34	52-40	3c	2	Orniéreur
	< 20 000 > 5 000	< 300 000 > 150 000	70-28* 64-28	64-34* 58-34	58-40* 52-40	3b	2	Orniéreur	64-28* 58-28	58-34	52-40	3c	2	Orniéreur
	< 5 000	< 150 000	58-28	58-34	52-40	3c	2		58-28	58-34	52-40	3c	2	

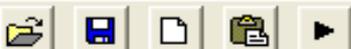
**À VENIR BIENTÔT:** Un nouveau tableau avec une nouvelle classification des bitumes: PG 64E-28, 64H-28, 58H-34, 52V-40, 58S-28 ...

## Guide d'utilisation des géosynthétiques de séparation et de renforcement des chaussées



# Épaisseur de revêtement d'une structure de chaussée sur remblai léger avec polystyrène et dalle de béton, fondation de 1200mm d'épaisseur



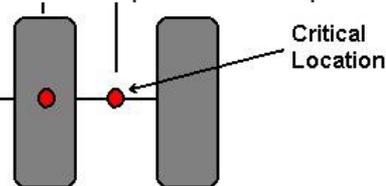


Input Layers

	Thickness	E-Modulus	PR	Slip
1	150.00	3500.0	0.30000	0.0000
2	250.00	206.80	0.35000	0.0000
3	450.00	103.40	0.35000	0.0000
4	6000.0	20.690	0.40000	0.0000
5				
6				

Input Loads

	X-Coord.	Y-Coord.	Load	Contact Area
1	0.0000	0.0000	20000.	40639.
2	0.0000	340.00	20000.	40639.
3				
4				
5				



Input Evaluation Points

	X-Coord.	Y-Coord.
1	0.0000	0.0000
2	0.0000	170.00
3		
4		
5		
6		

Input Calculation Depths

	Depth
1	149.99
2	
3	
4	
5	
6	

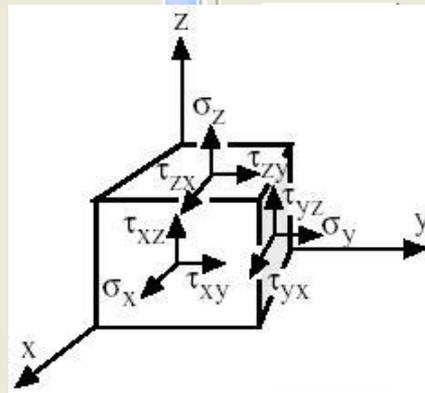
Results at Calculations Points

	Point 1	Point 2
X-Coord.	0.0000	0.0000
Y-Coord.	0.0000	170.00
Z-Coord.	149.99	149.99
Stress_X	-0.74063	-0.65337
Stress_Y	-0.59178	-0.31458
Stress_Z	0.87279E-01	0.75618E-01
ShearStress_XZ	0.0000	0.0000
ShearStress_YZ	-0.14368E-01	0.0000
ShearStress_XY	0.0000	0.0000
Strain_X	-0.16837E-03	-0.16620E-03
Strain_Y	-0.11308E-03	-0.40359E-04
Strain_Z	0.13914E-03	0.10457E-03
ShearStrain_XZ	0.0000	0.0000
ShearStrain_YZ	-0.10673E-04	0.0000
ShearStrain_XY	0.0000	0.0000
Displ_X	0.0000	0.0000
Displ_Y	-0.13158E-01	0.0000
Displ_Z	0.69358	0.70631
PrincStress_1	0.87582E-01	0.75618E-01
PrincStress_2	-0.59209	-0.31458
PrincStress_3	-0.74063	-0.65337
PrincStrain_1	0.13926E-03	0.10457E-03
PrincStrain_2	-0.11319E-03	-0.40359E-04

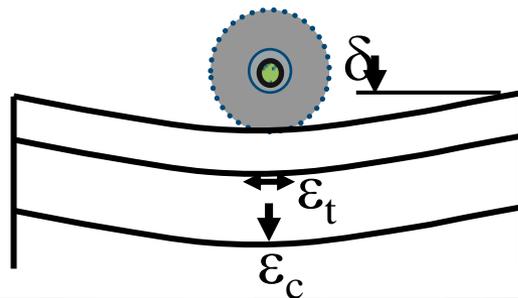
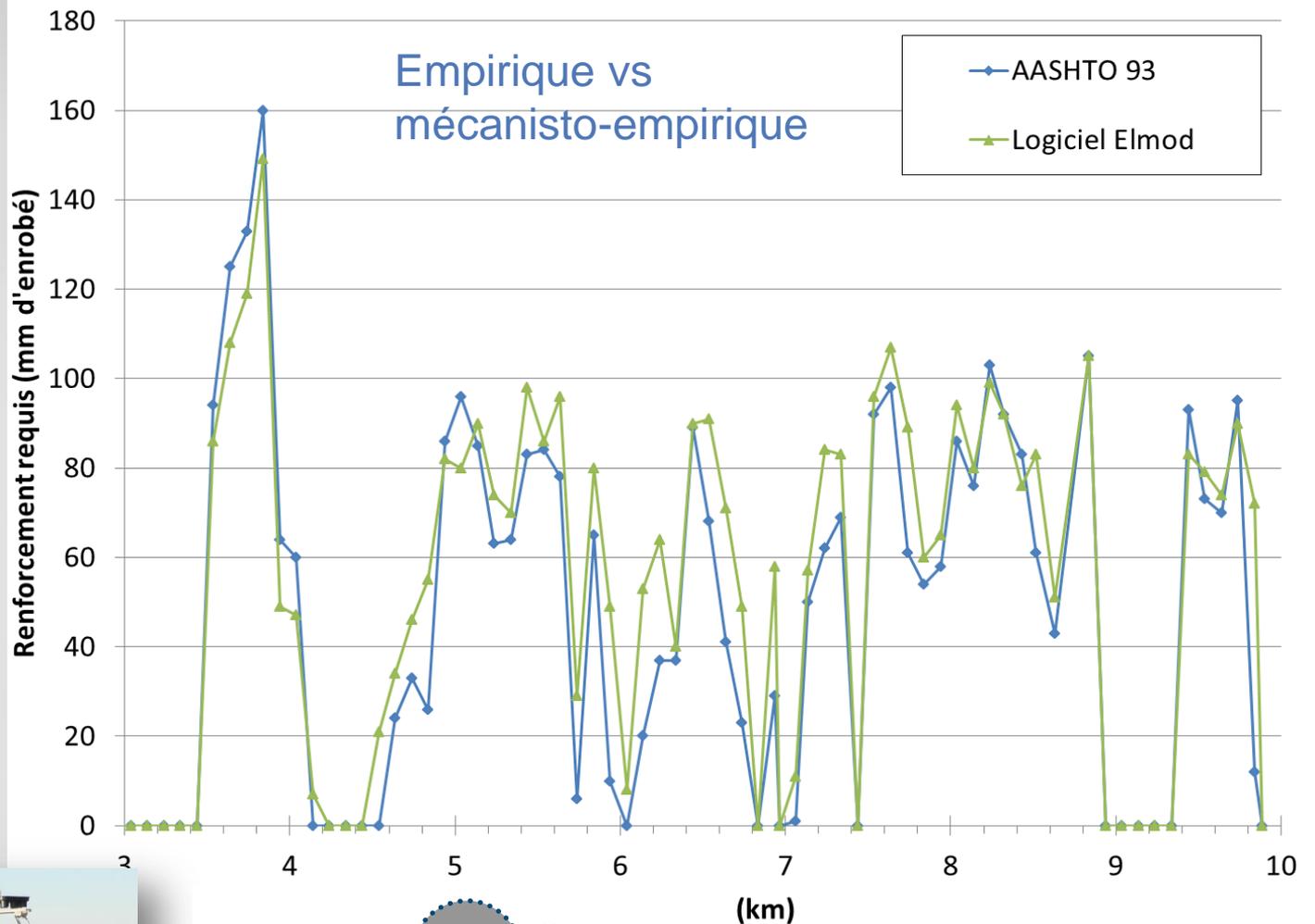
Calculate

Save

Open



# Défectomètre FWD (recouvrement requis)



# L'approche mécanisto-empirique du MEPDG

## Chaussées souples

Ornières



$$\Sigma \varepsilon_v$$

Fissures longitudinales  
(structurales)



$$\varepsilon_t$$

Fissures transversales  
(thermiques)



$$\Delta L$$

(Soulèvements  
au gel)



$$\Delta h$$

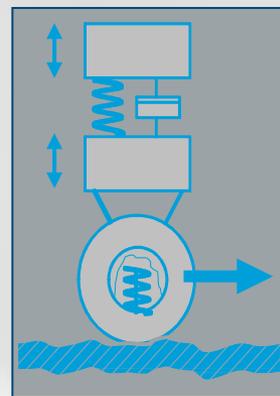
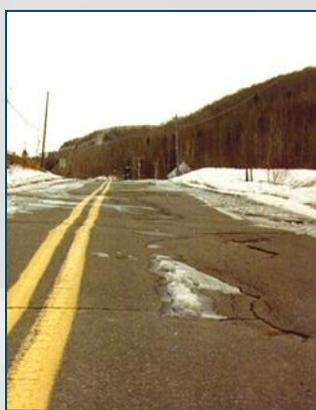
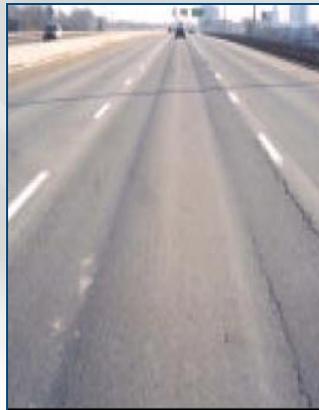
Remontée  
des fissures  
(overlay)



$$h_{OVL}$$

Uni

combiné

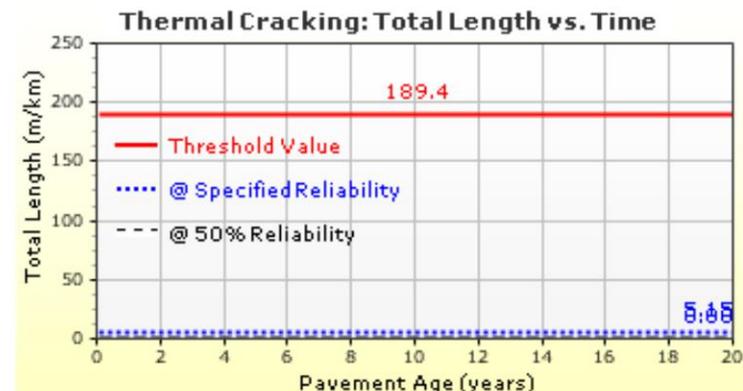
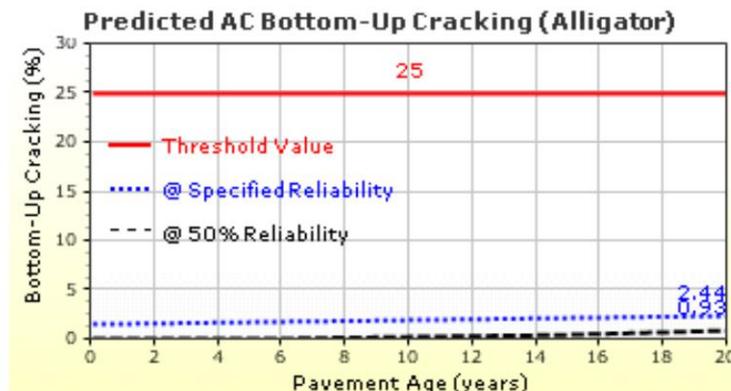
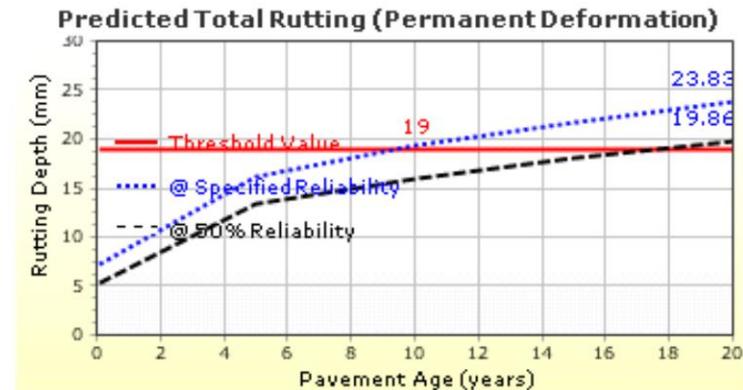
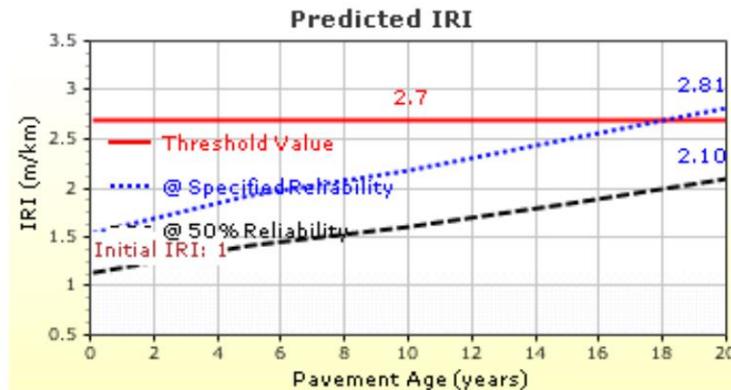


# Design Outputs

## Distress Prediction Summary

Distress Type	Distress @ Specified Reliability		Reliability (%)		Criterion Satisfied?
	Target	Predicted	Target	Achieved	
Terminal IRI (m/km)	2.70	2.81	90.00	86.03	Fail
Permanent deformation - total pavement (mm)	19.00	23.82	90.00	38.99	Fail
AC bottom-up fatigue cracking (percent)	25.00	2.44	90.00	100.00	Pass
AC thermal cracking (m/km)	189.40	5.15	90.00	100.00	Pass
AC top-down fatigue cracking (m/km)	378.80	131.78	90.00	99.99	Pass
Permanent deformation - AC only (mm)	6.00	9.77	90.00	32.76	Fail

## Distress Charts





Summary Hourly climate data

July /1987

to June /2007

Verify Weather

Date/Hour	Temperature (deg C)	Wind Speed (kph)	Sunshine (%)	Precipitation (mm)	Humidity (%)	Water table (m)
7/1/1987 12:00:00 AM	13.4	11.3	90	0	77	3
7/1/1987 1:00:00 AM	12.8	9.7	100	0	81	3
7/1/1987 2:00:00 AM	12.7	16.1	100	0	79	3
7/1/1987 3:00:00 AM	12.2	16.1	100	0	79	3
7/1/1987 4:00:00 AM	12.6	16.1	90	0	75	3
7/1/1987 5:00:00 AM	12	14.5	80	0	78	3
7/1/1987 6:00:00 AM	13.6	17.7	80	0	75	3
7/1/1987 7:00:00 AM	15.2	20.9	70	0	70	3
7/1/1987 8:00:00 AM	17	19.3	60	0	57	3
7/1/1987 9:00:00 AM	18.9	17.7	40	0	52	3
7/1/1987 10:00:00 AM	19.7	19.3	20	0	49	3
7/1/1987 11:00:00 AM	19.2	19.3	30	0	51	3
7/1/1987 12:00:00 PM	21.4	19.3	30	0	45	3
7/1/1987 1:00:00 PM	22.3	17.7	30	0	41	3
7/1/1987 2:00:00 PM	22	16.1	20	0	42	3
7/1/1987 3:00:00 PM	23.4	14.5	20	0	39	3
7/1/1987 4:00:00 PM	23.3	20.9	20	0	39	3
7/1/1987 5:00:00 PM	23.1	17.7	60	0	39	3
7/1/1987 6:00:00 PM	22.3	8	70	0	44	3
7/1/1987 7:00:00 PM	20.7	6.4	50	0	55	3
7/1/1987 8:00:00 PM	18.6	6.4	70	0	62	3
7/1/1987 9:00:00 PM	17	4.8	70	0	70	3
7/1/1987 10:00:00 PM	17.3	4.8	90	0	63	3
7/1/1987 11:00:00 PM	15.4	4.8	90	0	69	3
7/2/1987 12:00:00 AM	13.8	6.4	100	0	72	3
7/2/1987 1:00:00 AM	13.2	6.4	100	0	73	3
7/2/1987 2:00:00 AM	12.5	6.4	100	0	73	3

#### Climate Station

Longitude (decimal degr)  -71.383

Latitude (decimal degr)  46.8

Elevation (m)  74

Depth of water table (m)  Annual(3)

Climate station  QUÉBEC CITY, QC

#### Identifiers

Display name/identifier

Description of object

Approver

Date approved 1/1/2011

Author

Date created 1/1/2011

County

Province/State

District

Direction of travel

From station (km)

To station (km)

Highway

Revision 0

User



±225 stations au Canada  
(24 station au Québec)

#### Climate station

Climate station selected from hourly climatic database (optional)



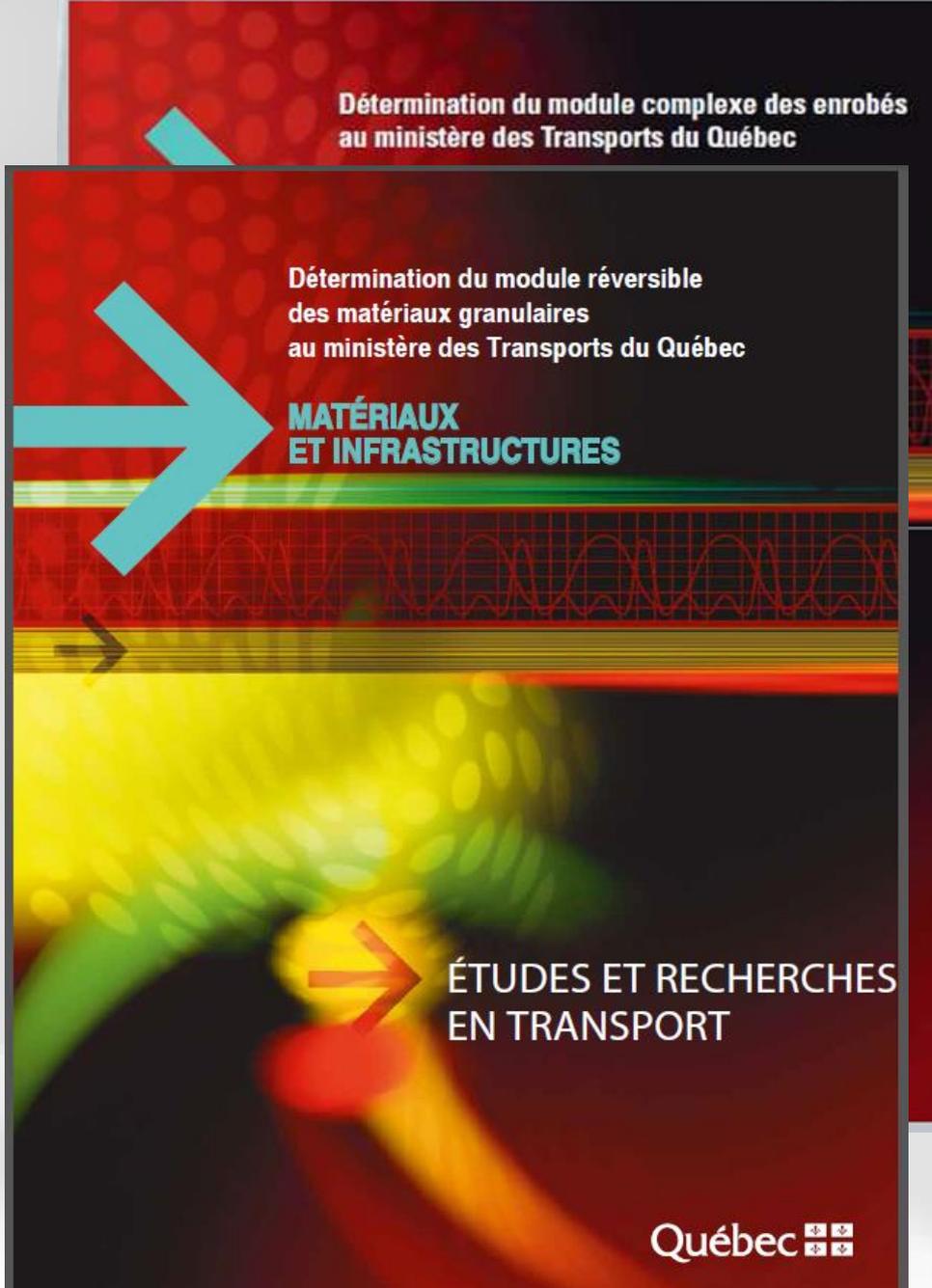
# Matériaux

Doucet et Auger (2009)

Bitumes	Enrobés		
	ESG-10	ESG-14	GB-20
PG 58-28	*	*	*
PG 58-34	*	Rep.	*
PG 64-28	*	*	*
PG 64-34	*	*	*
PG 70-28	*	*	*

Doucet et Auger (2014)

Matériaux	Description	Nombre
MG 20	Pierre concassée	22
MG 20	Gravier concassé	8
MG 112	Sable	6



Détermination du module complexe des enrobés  
au ministère des Transports du Québec

Détermination du module réversible  
des matériaux granulaires  
au ministère des Transports du Québec

**MATÉRIAUX  
ET INFRASTRUCTURES**

ÉTUDES ET RECHERCHES  
EN TRANSPORT

Québec 

**AADTT**

- Two-way AADTT  **4000**
- Number of lanes  **2**
- Percent trucks in design dir  **50**
- Percent trucks in design lar  **95**
- Operational speed (kph)  **100**

**Traffic Capacity**

- Traffic Capacity Cap  **No**

**Axle Configuration**

- Average axle width (m)  **2.59**
- Tandem axle spacing (m)  **1.31**
- Dual tire spacing (mm)  **305**
- Quad axle spacing (m)  **1.25**
- Tire pressure (kPa)  **827.4**
- Tridem axle spacing (m)  **1.25**

**Lateral Wander**

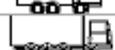
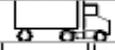
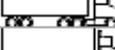
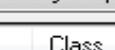
- Design lane width (m)  **3.7**
- Mean wheel location (mm)  **460**
- Traffic wander standard de  **254**

**Wheelbase**

- Average spacing of long ax  **5.49**
- Average spacing of mediur  **4.57**
- Percent trucks with long ax  **61**
- Percent trucks with mediur  **22**
- Percent trucks with short ax  **17**
- Average spacing of short a  **3.66**

**Identifiers**

- Approver
- Date approved **01/01/201**
- Author **AASHTOW**
- Date created **01/01/201**
- County
- Description of object **Default Tra**
- Direction of travel
- Display name/identifier **Default Tra**
- District
- From station (km)
- Item Locked? **False**
- Highway

Vehicle Class	Distribution (%)	Growth Rate (%)	Growth Function	
Class 4	3.3	3	Linear	
Class 5	34	3	Linear	
Class 6	11.7	3	Linear	
Class 7	1.6	3	Linear	
Class 8	9.9	3	Linear	
Class 9	36.2	3	Linear	
Class 10	1	3	Linear	
Class 11	1.8	3	Linear	

Monthly Adjustment    Import Monthly Adjustmen

Month	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Class 8	Class 9	Class 10	Class 11	
January	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1
February	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1
March	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1
April	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1
May	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1
June	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1
July	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1

Axles Per Truck

Vehicle Class	Single	Tandem	Tridem	Quad
Class 4	1.62	0.39	0	0
Class 5	2	0	0	0
Class 6	1.02	0.99	0	0
Class 7	1	0.26	0.83	0
Class 8	2.38	0.67	0	0
Class 9	1.13	1.93	0	0
Class 10	1.19	1.09	0.89	0
Class 11	4.29	0.26	0.06	0
Class 12	3.52	1.14	0.06	0

Time of Day	Percentage
12:00 am	2.3
1:00 am	2.3
2:00 am	2.3
3:00 am	2.3
4:00 am	2.3
5:00 am	2.3
6:00 am	5
7:00 am	5
8:00 am	5
9:00 am	5
10:00 am	5.9
11:00 am	5.9
12:00 pm	5.9
1:00 pm	5.9
2:00 pm	5.9
3:00 pm	5.9
4:00 pm	4.6
5:00 pm	4.6
6:00 pm	4.6
7:00 pm	4.6
8:00 pm	3.1
9:00 pm	3.1
10:00 pm	3.1
11:00 pm	3.1

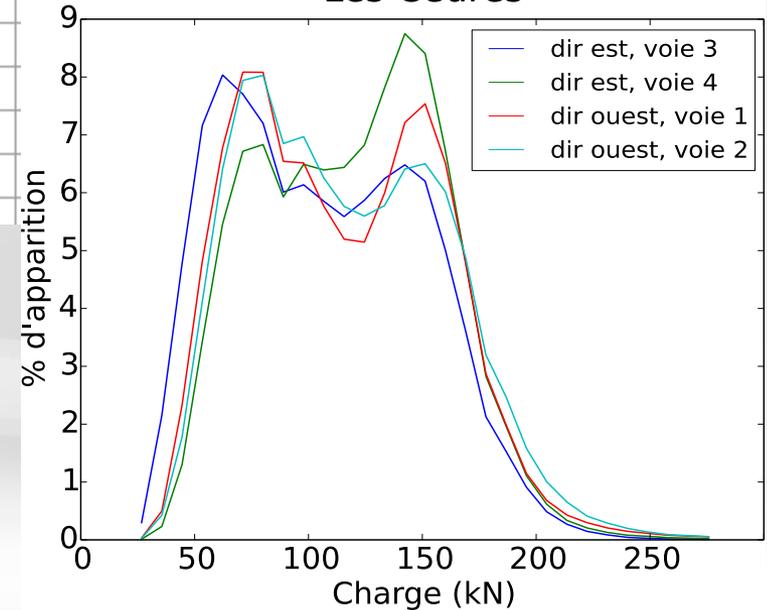


**Traffic Capacity Cap**  
The average standard deviation of the lateral traffic wander. The recommended default val...

# Diagrammes de masses par essieux

Project1:Project		Project1:Traffic*		Project1:Single		Project1:Tandem		Project1:Tridem		Project1:Quad		
Month	Class	Total	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	110
January	4	100	1.65	4.78	1.81	2.56	3.57	4.95	7.92	12.35	16.23	13.8
January	5	100	1.96	18.25	28.43	10.62	5.61	5.29	5.53	4.95	2.84	2.34
January	6	100	1.51	6.94	10.33	10.81	9	8.27	7.58	6.86	6.61	5.52
January	7	100	3.91	12.42	7.24	5.41	6.13	6.06	5.4	5.16	4.94	4.12
January	8	100	5.29	16.66	10.26	12.6	12.1	9.82	7.79	6.15	4.78	3.25
January	9	100	0.83	3.46	5.49	7.74	8.41	7.92	6.67	6.27	6.04	5.57
January	10	100	0.71	2.58	3.07	4.96	6.88	7.98	7.77	7.43	7.28	6.55
January	11	100	2.24	6.89	4.4	7.38	9.42	9.38	8.09	6.37	6.11	6.49
January	12	100	1.48	4.42	2.65	5.08	8.28	9.28	10.32	11.89	12.16	7.68
January	13	100	1.88	6.06	5.01	6.15	6.24	6.12	5.52	5.12	7.18	5.12
February	4	100	1.65	4.78	1.81	2.56	3.57					
February	5	100	1.96	18.25	28.43	10.62	5.61					
February	6	100	1.51	6.94	10.33	10.81	9					
February	7	100	3.91	12.42	7.24	5.41	6.13					
February	8	100	5.29	16.66	10.26	12.6	12.1					
February	9	100	0.83	3.46	5.49	7.74	8.41					

Les Cedres



**AC Cracking**

AC Cracking Bottom Standard Deviation	$1.13 + 13/(1+\exp(7.57-15.5*\text{LOG}_{10}(\text{BOTTOM}+0.0001)))$
AC Cracking C1 Bottom	✓ 1
AC Cracking C1 Top	✓ 7
AC Cracking C2 Bottom	✓ 1
AC Cracking C2 Top	✓ 3.5
AC Cracking C3 Bottom	✓ 6000
AC Cracking C3 Top	✓ 0
AC Cracking C4 Top	✓ 1000
AC Cracking Top Standard Deviation	$200 + 2300/(1+\exp(1.072-2.1654*\text{LOG}_{10}(\text{TOP}+0.0001)))$

**AC Fatigue**

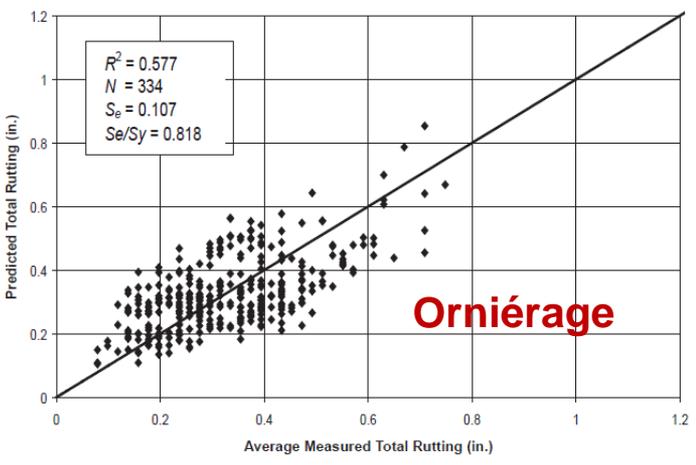
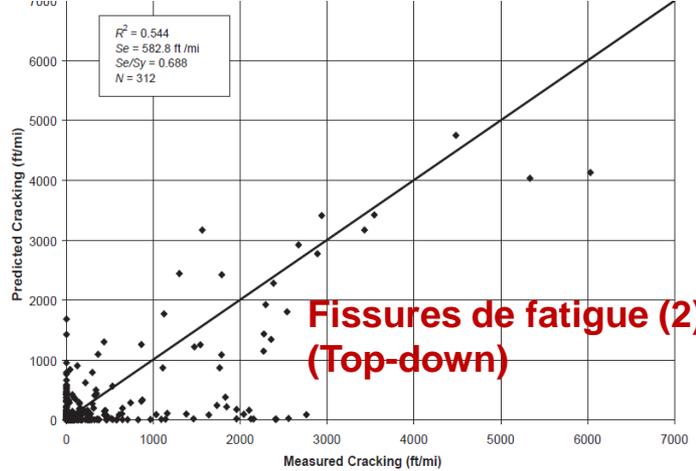
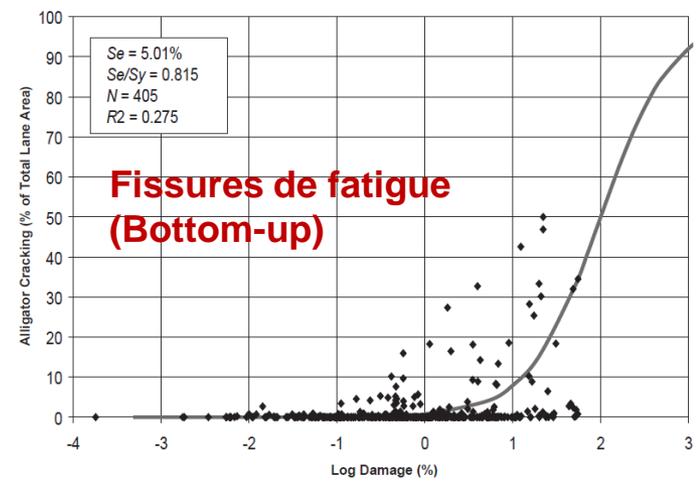
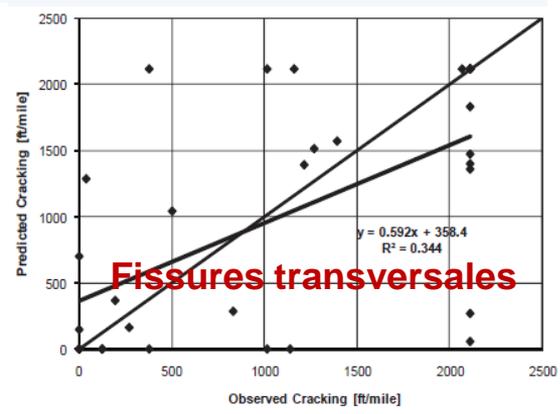
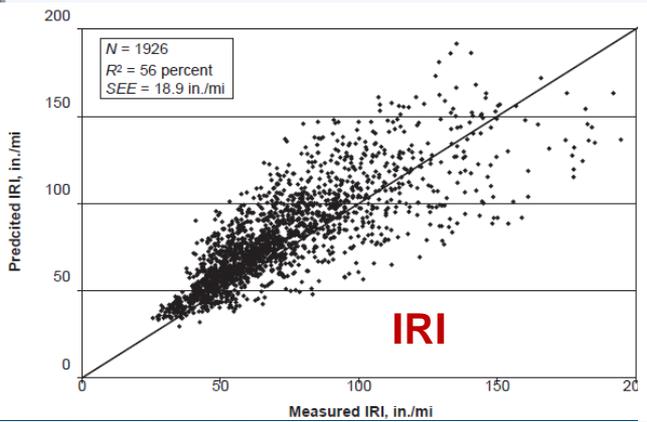
AC Fatigue BF1	✓ 1
AC Fatigue BF2	✓ 1
AC Fatigue BF3	✓ 1
AC Fatigue K1	✓ 0.007566
AC Fatigue K2	✓ 3.9492
AC Fatigue K3	✓ 1.281

**AC Rutting**

AC Rutting Standard Deviation  $0.24 * \text{Pow}(\text{RUT}, 0.8026) + 0.001$

**AC Rutting - Layer 1**

AC Rutting BR1 (1)	✓ 1
AC Rutting BR2 (1)	✓ 1
AC Rutting BR3 (1)	✓ 1
AC Rutting K1 (1)	✓ -3.35412
AC Rutting K2 (1)	✓ 1.5606
AC Rutting K3 (1)	✓ 0.4791



# Conclusion

Outils normalisés pour la pratique usuelle

Outils spécifiques pour les situations particulières

L'ensemble des outils actuels donnent des résultats cohérents.

- La méthode mécanisto-empirique est utilisée pour certaines situations. Les résultats attendus sont similaires, sauf qu'un plus grand nombre de variables peuvent être considérées.

Le MEPDG-AASHTOWare est à l'étude en collaboration avec les autres provinces. Son usage n'est pas intégré dans notre pratique actuellement.

A wide-angle, eye-level photograph of a long, straight, two-lane asphalt highway stretching into the distance. The road is flanked by metal guardrails and yellow concrete posts. The road surface is dark grey asphalt with a solid yellow center line and white edge lines. The horizon is flat, with a line of trees and a small hill in the distance under a cloudy, overcast sky. The word "Merci" is overlaid in the center of the image.

**Merci**