



Structures des chaussées souples

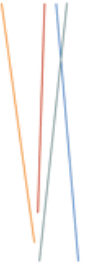
Cas types de dimensionnement – méthode française



Laurent Porot

Bitume Québec – Formation technique
23, 24 et 25 novembre 2010



A decorative graphic in the top left corner consisting of three vertical lines of different colors: orange, blue, and light blue.

➤ Hypothèses

➤ Structure conventionnelle

➤ Structure avec retraitement en place

➤ Autres applications

➤ Conclusions

Hypothèses

Approche rationnelle française

Modélisation

Structure

Cas de charge

Matériaux

Essieu standard de référence

Rayon, pression

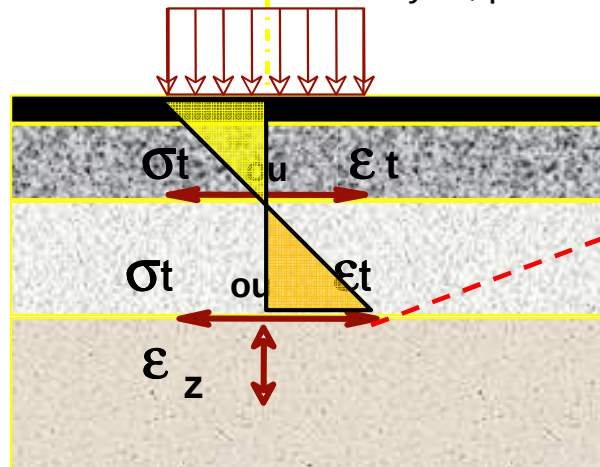
E_1, H_1, ν_1

E_2, H_2, ν_2

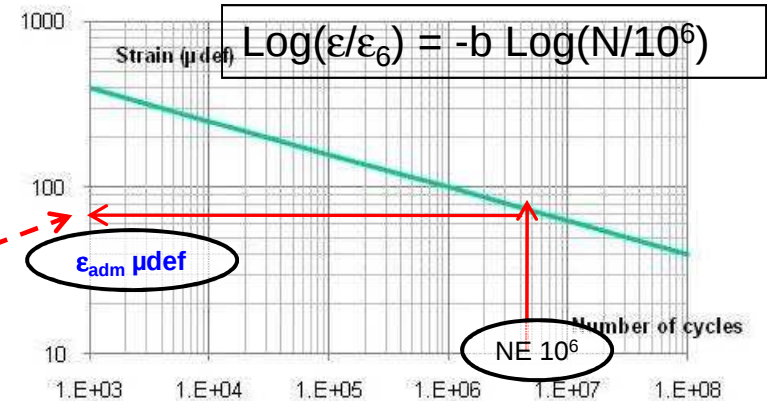
E_3, H_3, ν_3

E_4, H_4, ν_4

Conditions aux interfaces
(collé ou glissant)



Fatigue curve



$$\epsilon_t < \epsilon_{adm}$$

Calcul du trafic

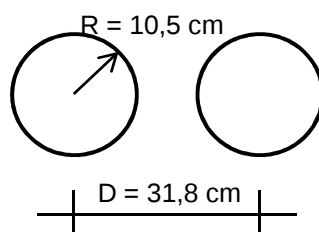
	Cas #1 autoroute	Cas #2 Bd urbain
1 - Trafic PL journaliers $t_{PL} = TMJA \times \%_{PL}$	$40000 \times 10\% = \mathbf{4000}$	$7500 \times 15\% = \mathbf{1125}$
2 - Trafic PL voie + chargée $T_{PL} = D \times D_{voie} \times B_{voie} \times t_{PL}$	$1/2 \times 72\% \times 1 \times 4000 = \mathbf{1440^*}$ 72% sur voie lente	$1/2 \times 73\% \times 1 \times 1125 = \mathbf{410}$ 73% sur voie lente
3 - Nombre cumulé de PL $N_{PL} = nb_{jour} \times C \times T_{PL}$	$300 \times 40,57 \times 1440 = \mathbf{17,5 \ 10^6}$ $C = [(1+2\%)^{30} - 1] / 2\% = 40,57$ (croissance géométrique)	$365 \times 36,46 \times 410 = \mathbf{5,5 \ 10^6}$ $C = [(1+3\%)^{25} - 1] / 3\% = 36,46$ (croissance géométrique)
4 - CAM	1	2,7
5 - Nombre cumulé essieu standard $N_E = CAM \times N_{PL}$	$1 \times 17,5 \ 10^6 = \mathbf{17,5 \ 10^6}$	$2,7 \times 5,5 \ 10^6 = \mathbf{14,7 \ 10^6}$

* 1440 PL/j sur 300 jours →
à 1180 sur 365 jours

Cas de charge

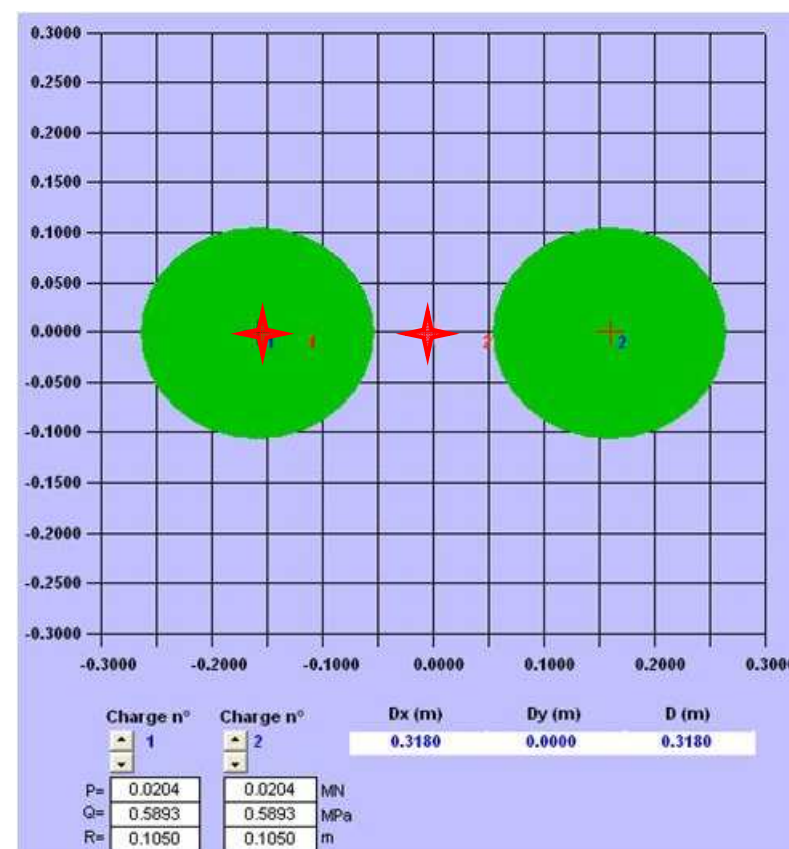
➤ Essieu standard de référence

- Charge total de 8,16t
- Géométrie



➤ Points de calcul

- Sous une roue
- Entre 2 roues



Modélisation charge sous Alizé

Matériaux

➤ En couche de roulement

➤ Enrobés type BBSG

➤ $E = 5400 \text{ MPa}$

Qualité d'usage,
résistance orniérage

➤ En couche d'assise

➤ Enrobés type GB classe 3

➤ $E = 9300 \text{ MPa}$ et $\epsilon_6 = 90 \mu\text{def}$

Valeur patrimoniale,
module et fatigue

➤ En assise granulaire

➤ Grave Naturelle insensible à l'eau

➤ $E = 3 \text{ fois } E \text{ du dessous (tranche } 20\text{cm)}$

Valeur patrimoniale,
protection au gel

Valeur usuelle
contexte français

Synthèse des hypothèses

Hypothèse	Cas #1 autoroute	Cas #2 Bd urbain
Plateforme	47 MPa	
Trafic	1180 PL/j* sur 30ans à 2% géom	410 PL/j sur 25ans à 3% géom
CAM	1	2,7
Trafic total	17,5 millions d'essieux standard	14,7 millions d'essieux standard
Charge	8,16 t essieu simple roue jumelée	
Risque	5%	15%
Matériaux BB GB Base retraité émulsion ciment MG	module à 15°C, 10Hz et fatigue à 10°C, 25Hz E= 5 400 MPa E= 9 300 MPa et $\epsilon_6 = 90 \mu\text{def}$ E= 4 000 MPa et $\epsilon_6 = 70 \mu\text{def}$ 3 fois module couche inférieure par couche de 20 cm	
Interfaces	Collée sauf sous base retraitement qui est prise semi-collée	

Cas dimensionnement français- page 13

* 1440 PL/j sur 300 jours → à 1180 sur 365 jours

Structure conventionnelle

Modélisation de structure

➤ Modélisation de structure

➤ Surface

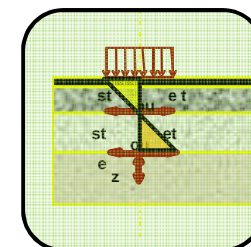
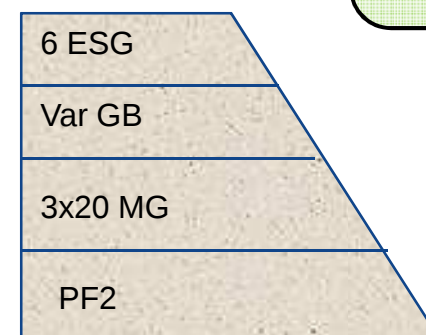
➤ 6 cm de ESG

➤ Assise

➤ **Épaisseur variable en GB classe 3**

➤ Assise granulaire

➤ 60 cm de MG en 3 couches



➤ Variantes

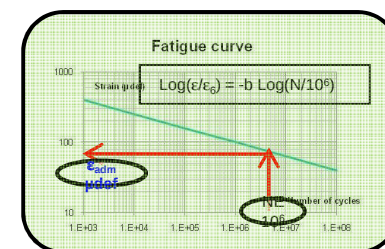
➤ Sur les épaisseurs de GB à partir de 10cm

données de base no1				Variantes d'épaisseur											
	épais (m)	module (MPa)	llu	no2	no3	no4	no5	no6	no7	no8	no9	no10	no11	no12	
collé	0.06	5400	0.35	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	
	0.1	9300	0.35	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	0.160	0.170	0.180	0.190	0.200	0.210	
collé	0.2	450	0.35	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	
collé	0.2	450	0.35	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	
collé	0.2	150	0.35	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	
collé	infini	47	0.35	infini	infini	infini	infini	infini	infini	infini	infini	infini	infini	infini	

Sollicitations admissibles

➤ Sur le sol et matériaux granulaires

$\epsilon_{7\text{adm}} = A N^{-0.222}$ avec $A = 12\,000$



↗ En bas des couches d'assise (GB)

$$\epsilon_{\text{adm}} = \epsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) \times \left(\frac{NE}{10^6} \right)^b \times \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(15^\circ\text{C})}} \times k_c \times k_r \times k_s$$

- $E = 12300 \text{ MPa}$ à 10°C et 9300 MPa à 15°C
- k_c , calage labo / terrain $k_c = 1,3$
- k_r , coefficient de risque pour, $k_r = 0,830$ pour 85% & $0,733$ pour 95%
- k_s , défaut de portance pour 50 MPa $k_s = 1/1,1$

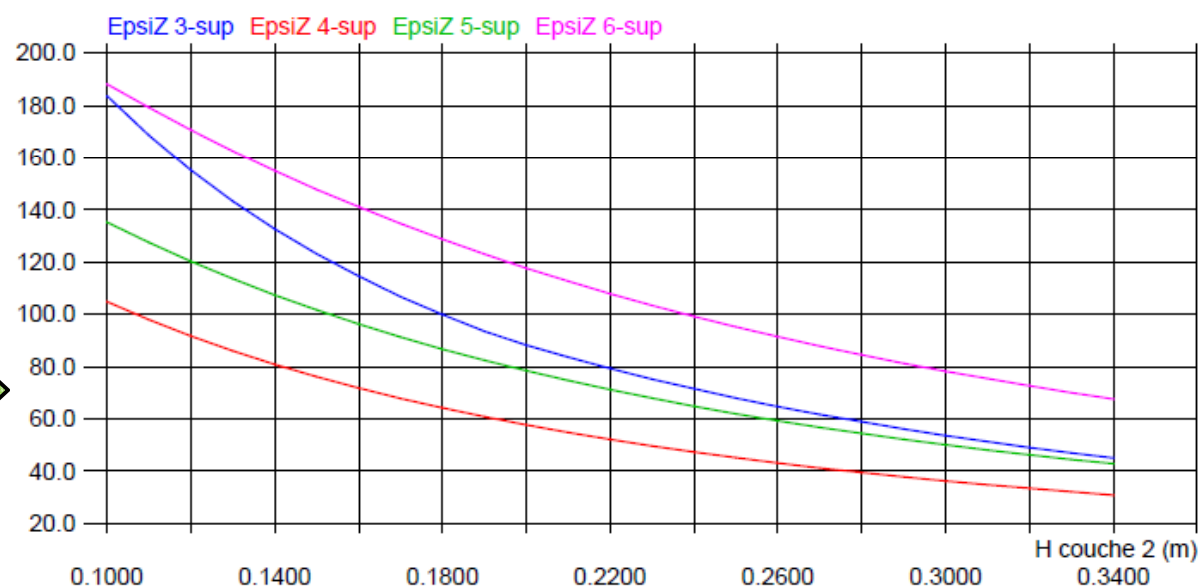
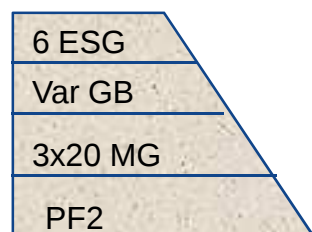
➤ Résultats

	Autoroute	Bd urbain
NE	17,5 10 ⁶	14,7 10 ⁶
Sur GB	51,4 µdef	59,3 µdef
Sur MG et sol	296,1 µdef	307,5 µdef

Critère sur sol et MG

➤ Sollicitations admissibles

	Autoroute	Bd urbain
NE	17,5 10 ⁶	14,7 10 ⁶
Sur MG et sol	296,1 µdef	307,5 µdef



Dans les 2 cas, les déformations sur le sol ou les couches granulaires restent inférieures aux valeurs admissibles

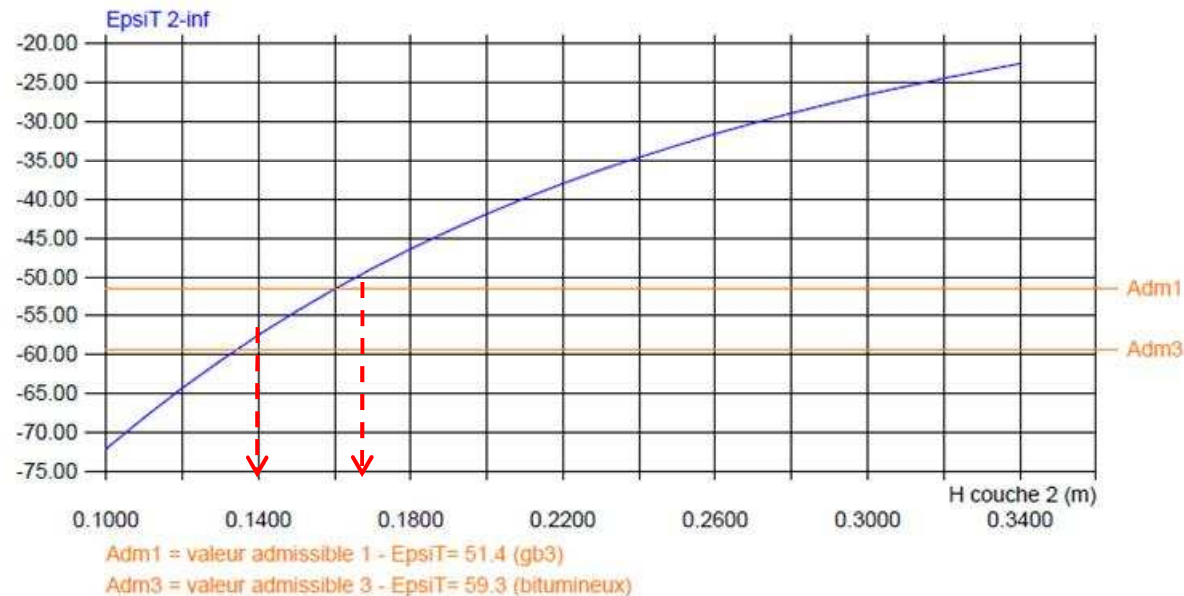
Critère sur GB

La GB est dimensionnant

➤ Sollicitations admissibles

	Autoroute	Bd urbain
NE	17,5 10 ⁶	14,7 10 ⁶
Sur GB	51,4 µdef	59,3 µdef

6 ESG
Var GB
3x20 MG
PF2

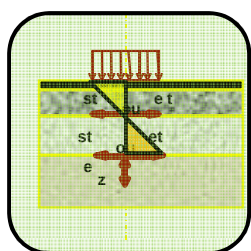


Boulevard urbain
6 ESG / 14 GB / 20 MG / 40 MG

Chaussée autoroutière
6 ESG / 17 GB / 20 MG / 40 MG

Résultat pour l'autoroute

➤ Sollicitations dans la structure sous 1 charge

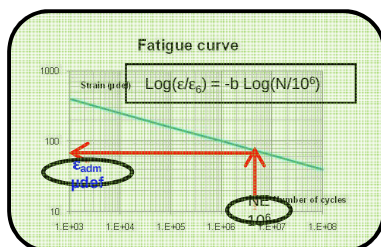


Structure conventionnelle							
épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0.060	5400.0 collé	0.350	0.000	26.2	0.288	14.2	0.585
			0.060	10.8	0.236	45.2	0.518
0.170	9300.0 collé	0.350	0.060	10.8	0.284	20.2	0.518
			0.230	-49.1	-0.596	46.1	0.046
0.200	450.0 collé	0.350	0.230	-49.1	-0.005	107.2	0.046
			0.430	-38.0	-0.014	68.1	0.021
0.200	450.0 collé	0.350	0.430	-38.0	-0.014	68.1	0.021
			0.630	-50.3	-0.029	65.4	0.009
0.200	150.0 collé	0.350	0.630	-50.3	-0.006	91.5	0.009
			0.830	-54.1	-0.009	81.4	0.006
infini	47.0	0.350	0.830	-54.1	-0.001	134.8	0.006

Déformation en bas
de la GB

Déformation en
haut du sol

➤ A comparer aux déformations admissibles



	Autoroute
NE	17,5 10 ⁶
Sur GB	51,4 µdef
Sur MG et sol	296,1 µdef



Discussion

➤ Comparaison à Chaussée II

- Cas de l'autoroute: quasi équivalent
- Cas du boulevard urbain: +2cm



➤ La méthode mécanique dimensionne structurellement uniquement

- Δ PSI pas totalement intégré

➤ Température équivalente de chaussée

- Méthode française → 15°C
- Pour la zone de Montréal → 20°C

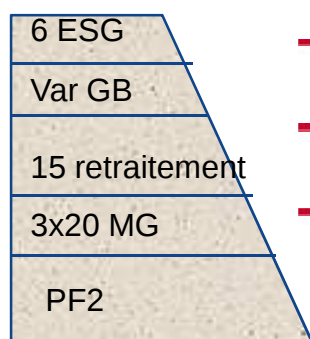
➤ Choix des matériaux

- Usage de bitume de grade 35/50 en France

Retraitement en place

Modélisation de structure

➤ Modélisation de structure



- Surface = 6 ESG roulement
- Assise 1 en GB → **épaisseur à définir**
- Assise 2 en base retraits sur 15 cm avec
 - $E = 4\,000\text{ MPa}$ et fatigue $\varepsilon_6 = 70\text{ }\mu\text{def}$
- Assise granulaire 60 cm de MG en 3 couches
- Interface semi collée sous le retraits

➤ Sollicitations admissibles

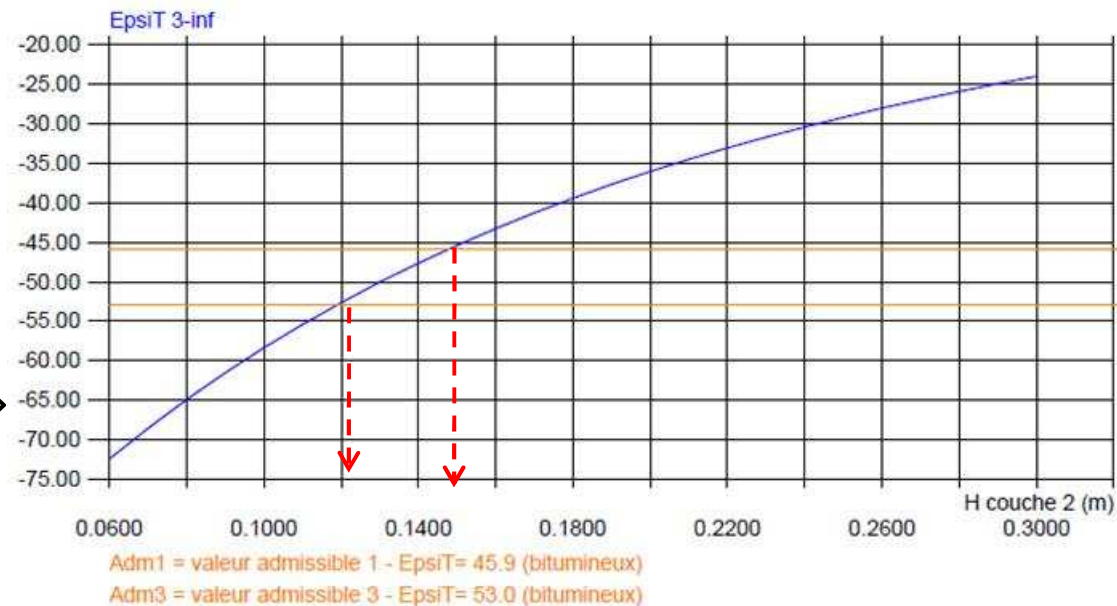
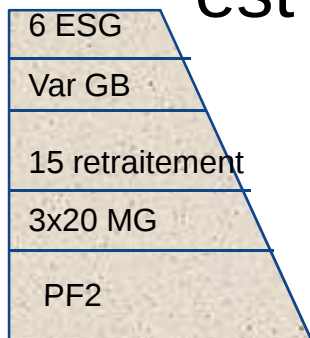
	Autoroute	Bd urbain
NE	17,5 10 ⁶	14,7 10 ⁶
Sur base retraits	45,9 μdef	53,0 μdef
Sur MG et sol	296,1 μdef	307,5 μdef

Résultats

➤ L'assise traitée
est dimensionnante

➤ Sollicitations admissibles

	Autoroute	Bd urbain
NE	17,5 10 ⁶	14,7 10 ⁶
Sur base retraitée	45,9 µdef	53,0 µdef



Boulevard urbain
6 ESG / 12 GB / 15 retrait
/ 20 MG / 40 MG

Chaussée autoroutière
6 ESG / 15 GB / 15 retrait
/ 20 MG / 40 MG

Discussion

➤ Comparaison à Chaussée II

➤ Cas de l'autoroute: +6 cm



➤ Cas du boulevard urbain: +6 cm



➤ En réalité, fonctionnement de la structure par phases

➤ Phase 0, murissement de la base retraitée

➤ Phase 1, travail de la base retraitée jusqu'à la rupture

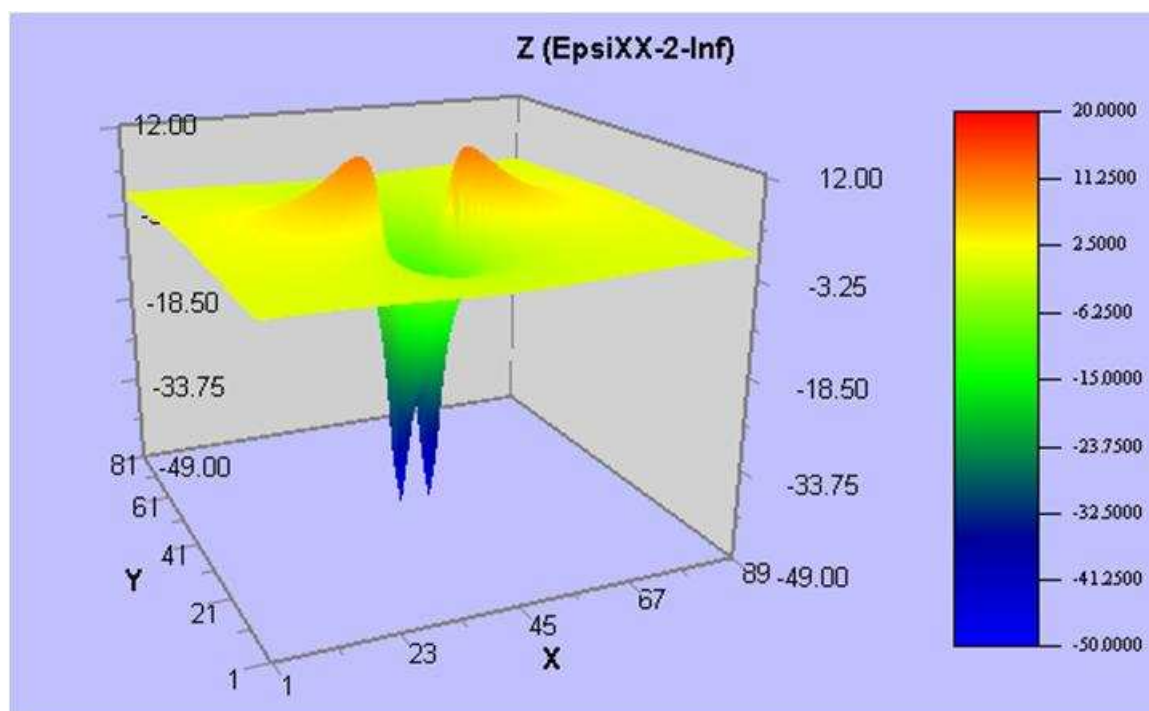
➤ Phase 2, la base retraitée atteint sa fatigue et la GB prend le relai en traction par flexion

Autres applications

Calcul avancé

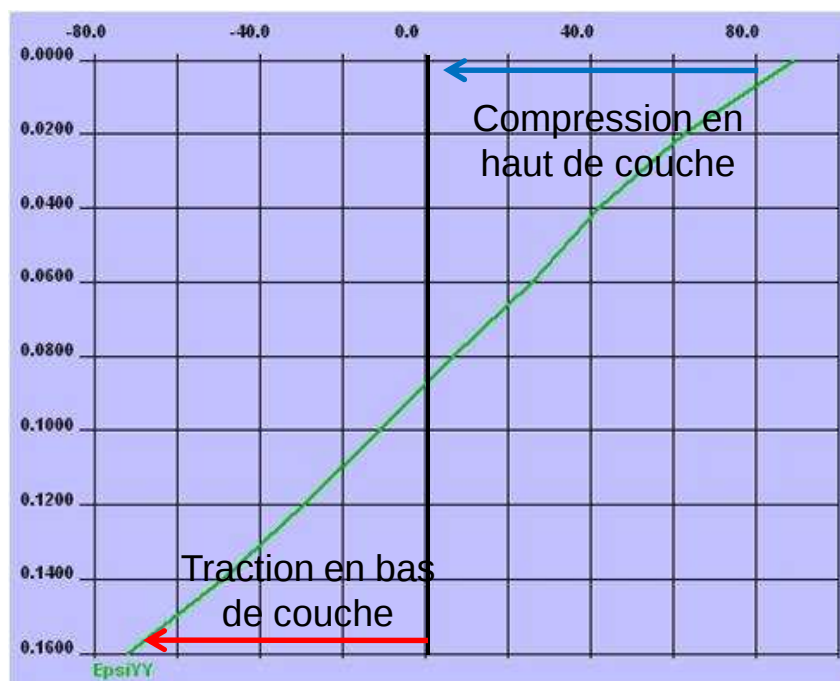
➤ Sollicitations en tout point

➤ Permet d'identifier les points de calcul maximaux



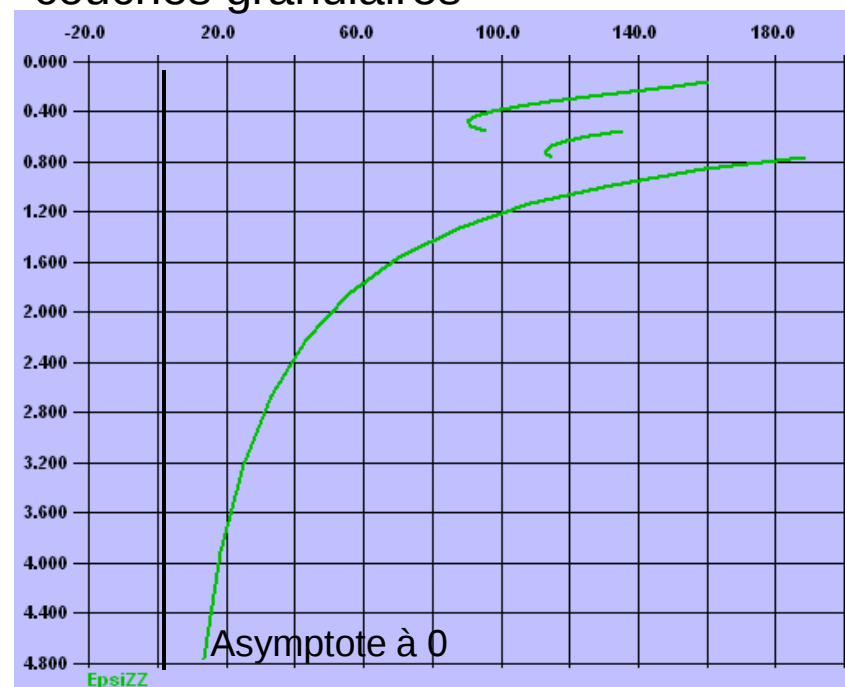
Profils de déformations

➤ Déformations selon axe des z



Déformations horizontales pour les couches en enrobés

Déformations verticales pour les couches granulaires



Calculs inverses

➤ Calcul de dommage

- Dommage élémentaire $d_i = 1/NE_{adm} (\epsilon_t/\epsilon_{adm})^{1/b}$
- Evolution du dommage $D_n = NE_n d_i$

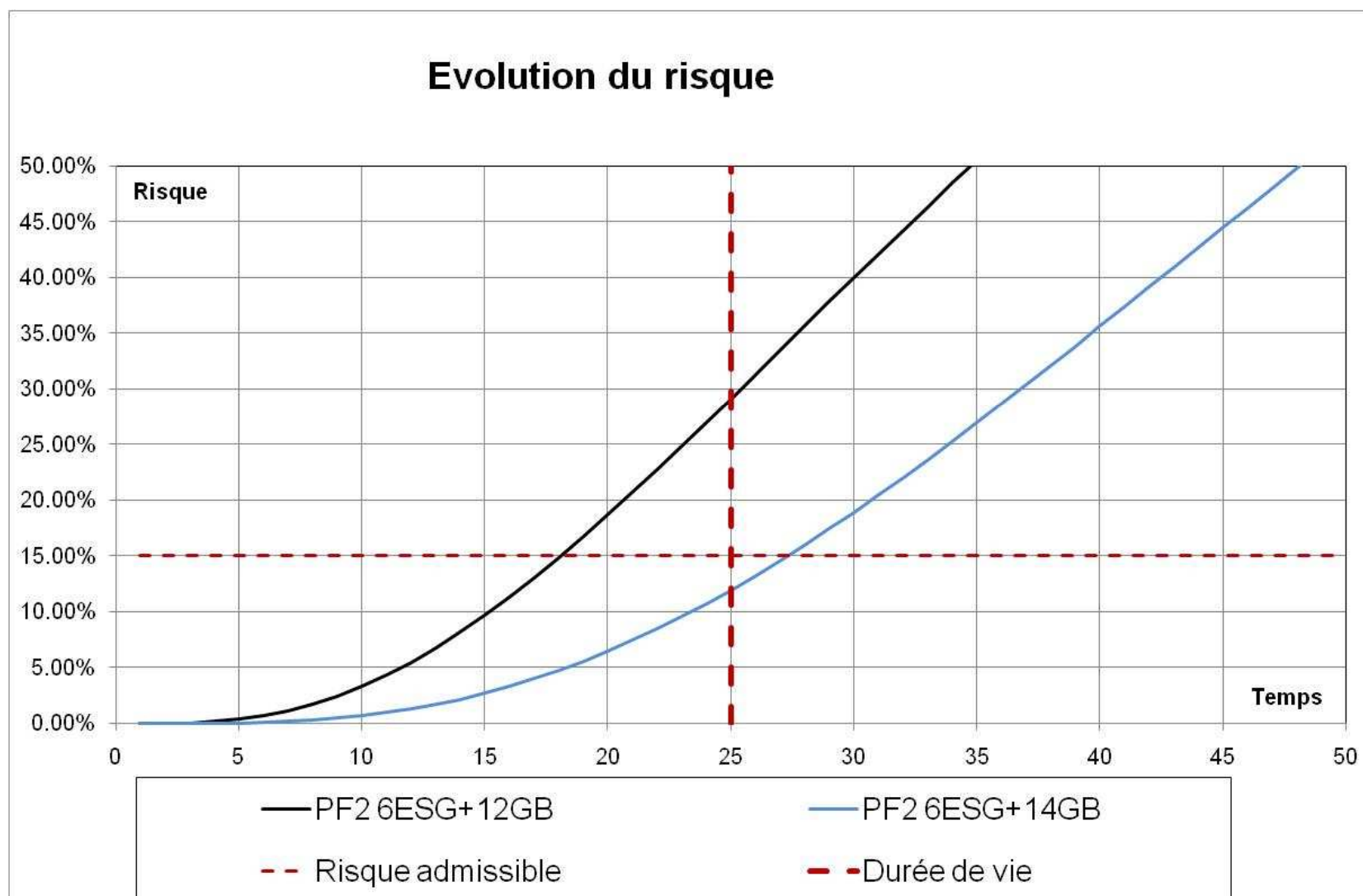
➤ Calcul inverse pour une structure

- Durée de vie $NE = (\epsilon_t/\epsilon_6)^{1/b} \times K \cdot 10^6$
- Risque $kr = (\epsilon_t/\epsilon_6) \times (NE/10^6)^{-1/b} \times (1/kcks)$

➤ Cas 2 Boulevard urbain

Dimensionnement	Alizé	CHAUSSÉE2
Structure	6 ESG + 14 GB	6 ESG + 12 GB
ϵ_t	57,8	64,7
Dommage	0,881	1,549
Durée de vie	NE= 16,7 10^6 soit 27,3 ans	NE= 9,5 10^6 soit 18 ans
Fiabilité	88 %	71 %

Analyse du risque

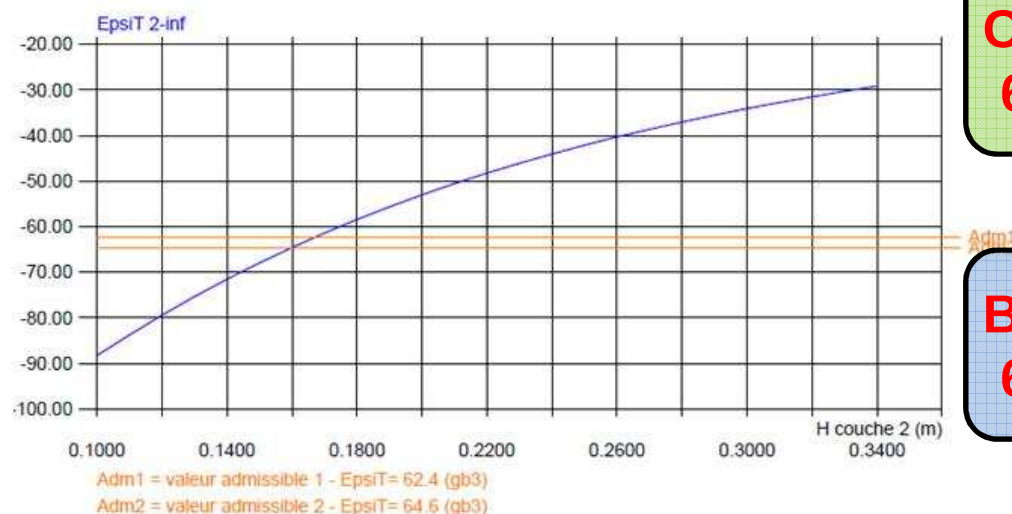


Recalage en température

➤ Température de référence, incidence sur module et fatigue

	T référence	Module ESG	Module GB	Fatigue GB
France	15°C	5400 MPa	9300 MPa	104 μ def
Montréal	20°C	3600 MPa	6300 MPa	125 μ def

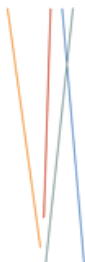
➤ Résultats Alizée



Chaussée autoroutière
6 ESG / 17 GB / 20 MG / 40 MG

Boulevard urbain
6 ESG / 16 GB / 20 MG / 40 MG

Conclusions



Enseignement

1. Différence entre résultats Alizé / CHAUSSEE2
 - Dimensionnement mécanistique uniquement pour la tenue structurelle
 - Recalages
2. Attention aux hypothèses d'entrées
3. Flexibilité de calcul et applications complémentaires