



Utilisation des EME sur supports déformables

Prise en compte dans Erasmus

La problématique 1

- L'utilisation d'enrobés à module élevé ou très élevé est courante en:
 - construction de chaussées neuves ,
 - en renforcement de chaussées souples
 - en traversées d'agglomérations.
- Références:
 - *Catalogue des structures chaussées neuves de 1998*
 - *Guide technique : Renforcements en EME en traversée d'agglomérations : Novembre 88*
 - *Guide technique renforcement de chaussées à paraître*

La problématique 2

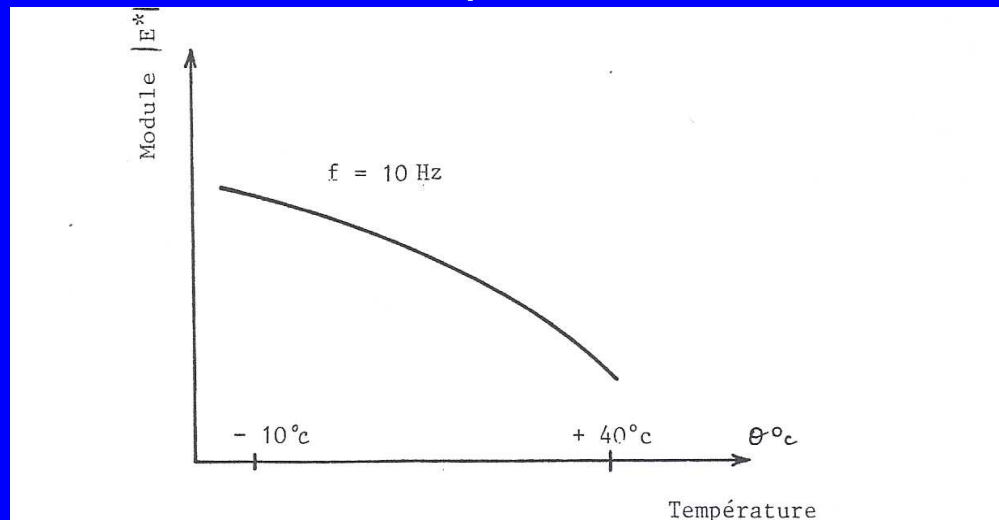
- Il faut savoir que:
- -) dans le cas ou chaussée ancienne présente de très fortes déformabilités , la mise en œuvre de faibles épaisseurs d'EME peut conduire à moyen terme à des désordres même si tous les critères de dimensionnement usuels sont respectés: ϵ_t , ϵ_z .
- -)en effet, la mise en œuvre d'une couche mince ou très mince , très rigide sur un support très déformable va conduire à la rupture de cette couche sous le passage de quelques charges (exemples)

Rappel sur les propriétés des EME 1

- EME : créés au début des années 80:
- Enrobés fabriqués à base de bitumes durs de classe 10/20
- Teneurs en liant : initialement $> 6\%$ pour tendre actuellement vers $5,8\%$
- Teneurs en liant élevées et ossature granulaire comparable aux GB permettent d'obtenir de faibles teneurs en vides :
 - -) des valeurs de rigidité élevées
 - -) de forts ϵ_6

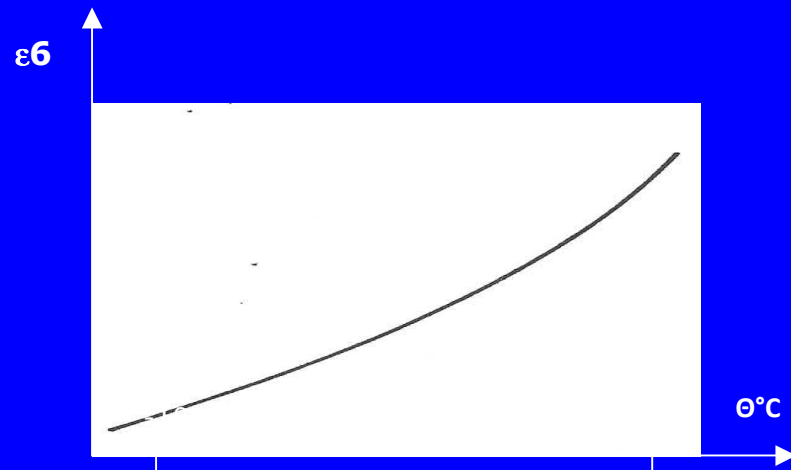
Propriétés des EME 2

- Comme tous les matériaux visco-élastiques: forte sensibilité à la température des EME:



E($\theta^{\circ}\text{C}$;10Hz) en MPa								
θ	-10°C	0	10	20	30	40	15°C	μ
EME2	30000	24000	17000	11000	6000	3000	14000	0,35
GC	23000							0,25

Propriétés des EME 3



Déformation caractéristique ε_6 en fonction de θ

- **Comportement à la fatigue:**
- **Sur les enrobés il est apprécié par l'essai de flexion(10°C et 25Hz) ou une éprouvette trapézoïdale encastrée à sa base est sollicitée en tête par un déplacement sinusoïdal d'amplitude constante. La rupture conventionnelle correspond à N cycles pour lequel l'effort appliqué est réduit de moitié.**

Propriétés des EME 4

Compte tenu de la raideur des EME et du comportement de ces matériaux en période froide (fort risque de fissuration transversale) ce matériau a-t-il un comportement élastique ou visco-élastique ???




















Dans cette hypothèse à priori on ne peut raisonner en déformation mais en contrainte comme s'il s'agissait d'un MTLH.

- **Rappel** : pour les MTLH le comportement en fatigue est apprécié par des essais en flexion sur éprouvettes trapézoïdales mais à contrainte(force) constante. On s'attache à déterminer le niveau de contrainte σ_6 correspondant à 10^6 cycles de chargement.

Les documents officiels et les EME

- Le catalogue des structures de 1998 et le guide technique des renforcements en EME en traversée d'agglomération font largement appel à cette technique !!!
- Examinons les limites d'emploi de ce matériau dans les diverses applications ?

Limite d'emploi des EME Catalogue des structures VRS

	50 MPa	120 MPa	200 MPa
PF 2	PF 3	PF 4	
 TC8⁺ 94 millions PL <small>(75 millions NE)</small>		 CS 13 cm 13 cm	 CS 12 cm 12 cm
 TC7⁺ 38 millions PL <small>(30 millions NE)</small>		 CS 11 cm 12 cm	 CS 10 cm 11 cm
 TC6⁺ 14 millions PL <small>(11,3 millions NE)</small>		 CS 9 cm 10 cm	 CS 8 cm 9 cm
 TC5⁺ 6 millions PL <small>(4,5 millions NE)</small>	 CS 11 cm 12 cm	 CS 8 cm 10 cm	 CS 8 cm 9 cm
 TC4⁺ 3 millions PL <small>(2,2 millions NE)</small>	 CS 10 cm 10 cm	 CS 7 cm 9 cm	 CS 6 cm 8 cm
 TC3⁺ 1 million PL <small>(0,7 million NE)</small>			
 TC2⁺			

Limite d'emploi des EME Catalogue des structures VRNS

	50 MPa	120 MPa	200 MPa
PF 2	PF 3	PF 4	
TC8 ₅₀ 5 millions PL (21 millions NCI)			
TC7 ₅₀ 5 millions PL (10 millions NCI)		CS 9 cm 10 cm	CS 8 cm 9 cm
TC6 ₅₀ 5 millions PL (10 millions NCI)	CS 9 cm 10 cm	CS 8 cm 9 cm	CS 12 cm*
TC5 ₅₀ 5 millions PL (7,3 millions NCI)	CS 10 cm 10 cm	CS 7 cm 9 cm	CS 6 cm 8 cm
TC4 ₅₀ 5 millions PL (4,8 millions NCI)	CS 6 cm 10 cm	CS 12 cm*	CS 10 cm*
TC3 ₅₀			

Pratique des EME Catalogue des structures

- En résumé:
- Dimensionnements non autorisés avec EME2
- Pour les **VRS si:** **$TC \leq TC3$**
- $TC \geq TC6$ en PF2
- Pour les **VRNS si:** **$TC \leq TC3$**
- $TC \geq TC7$ pour PF2
- $TC \geq TC8$ pour PF3 et PF4
- car pour les faibles trafics le calcul conduit à de trop faibles épaisseurs
- pour les forts trafics la technique est inadaptée et économiquement inintéressante .

Catalogue des structures :calculs Alizé

Pour différentes structures du catalogue (faible trafic de la catégorie) le calcul des contraintes et déformations fait apparaître des informations intéressantes, VNRS, VRS

On constate que la contrainte sigmaT est > à 2 MPa , pour des trafics de classe TC3 voire TC4

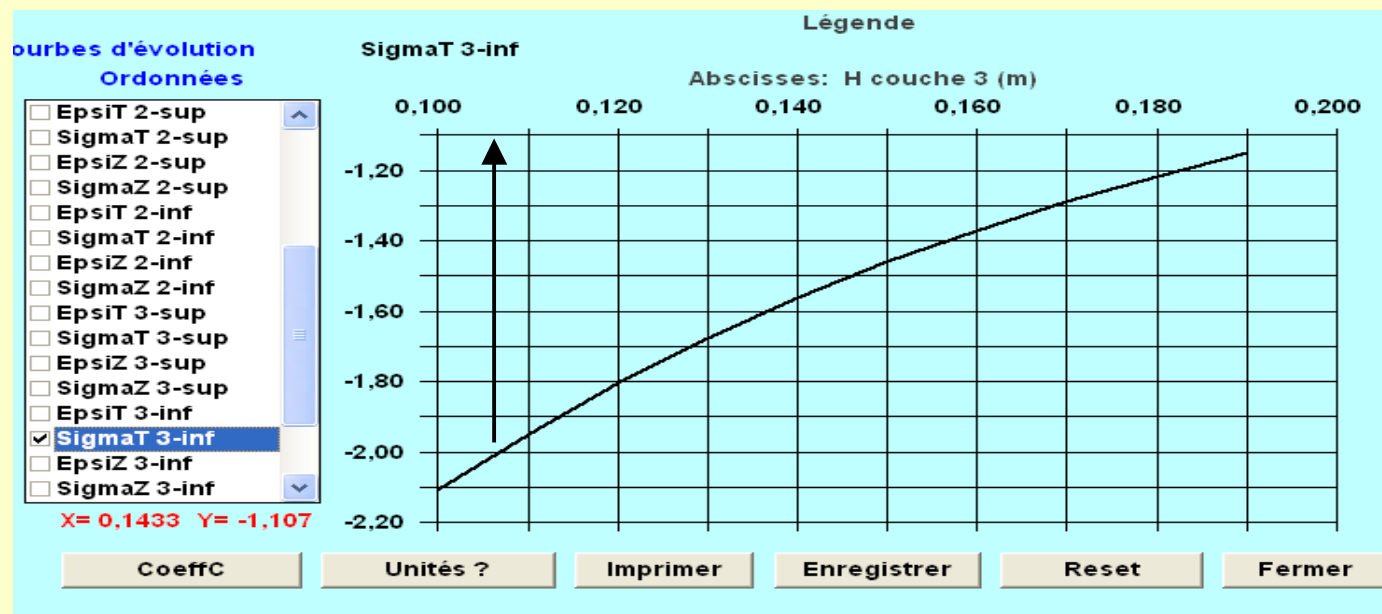
PF	sigmaT	déflexion	RC	Epsilon T	epsilon z	trafic		Structure
PF2	-2,11	64	664	109	434	TC420	VRNS	2,5BBTM+6EME2+10EME2
PF3	-2,36	43	471	123	449	TC420	VRNS	2,5BBTM + 12EME2
PF4	-2,37	33	403	124	439	TC420	VRNS	2,5BBTM +10EME2
PF2	-1,56	53	1008	80	310	TC430	VRS	2,5BBTM+ 2x10EME2
PF3	-1,7	34	790	89	308	TC430	VRS	2,5BBTM + 7EME2+9EME2
PF4	-1,7	26	707	89	296	TC430	VRS	2,5BBTM + 6EME2+8EME2

Catalogue des structures

- Pour les classes de trafic les plus faibles on admet dans le catalogue que la contrainte σ_t à la base de l'EME soit supérieure à 2MPa or l'expérience montre que la mise en œuvre de faibles épaisseurs conduit lors de la mise en œuvre à des dispersions importantes (précautions du catalogue) .
- Compte tenu que généralement les travaux concernant les faibles trafics représentent de faibles linéaires , on accroît le risque de désordres localisés(fissures et déformations).
- L'expérience montre qu'il est plus raisonnable de diminuer la contrainte de traction sur l'EME en recherchant des épaisseurs plus conséquentes .
- Exemples ci-après:

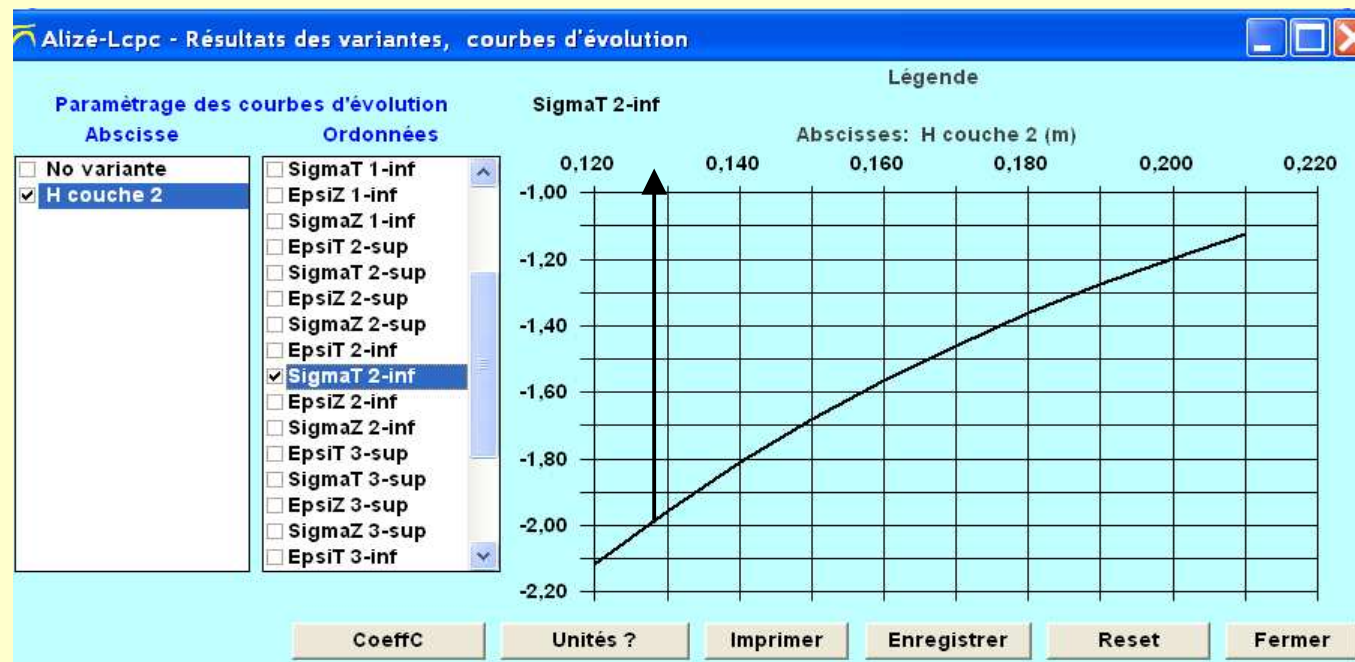
Structure TC4PF2 EME2

2,5BTM+ 6EME2+10EME2



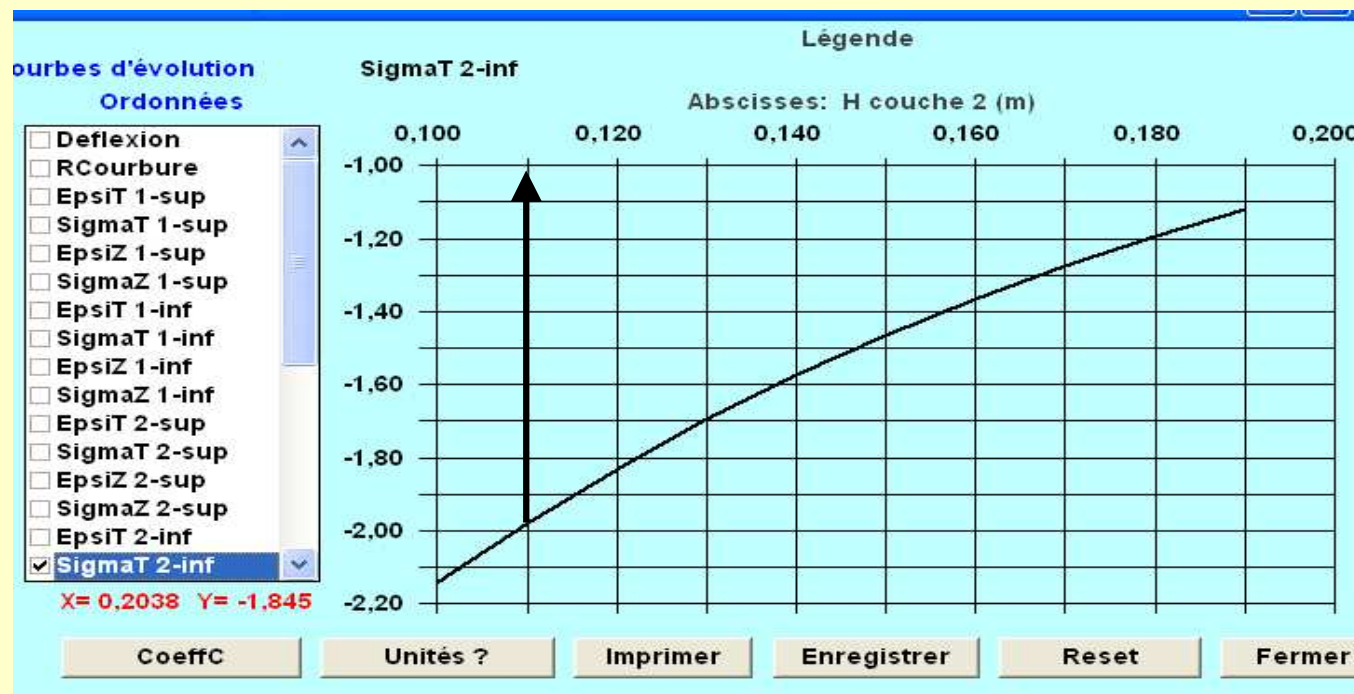
Structure TC4PF3 EME2

2,5BTM+12EME2



Structure TC4PF4 EME2

2,5BTM+10EME2



Catalogue des structures conclusions

L'emploi des EME n'a pas été généralisé à tous les cas TCi/ PFi du Catalogue car:

-) le calcul conduit à des épaisseurs trop faibles (inférieures aux minima technologiques) y compris sur support déformables souvent hétérogènes en portance.
-) la mise en œuvre d'une plaque très mince à fort module sur un sol trop déformable conduit à moyen terme à la rupture de cet enrobé.

L'expérience et les calculs réalisés montrent :

-) qu'il est souhaitable de limiter la contrainte à la base de l'EME à 2MPa ,
-) que les épaisseurs recommandées dans le catalogue sont des valeurs données par défaut à respecter impérativement en tous points.



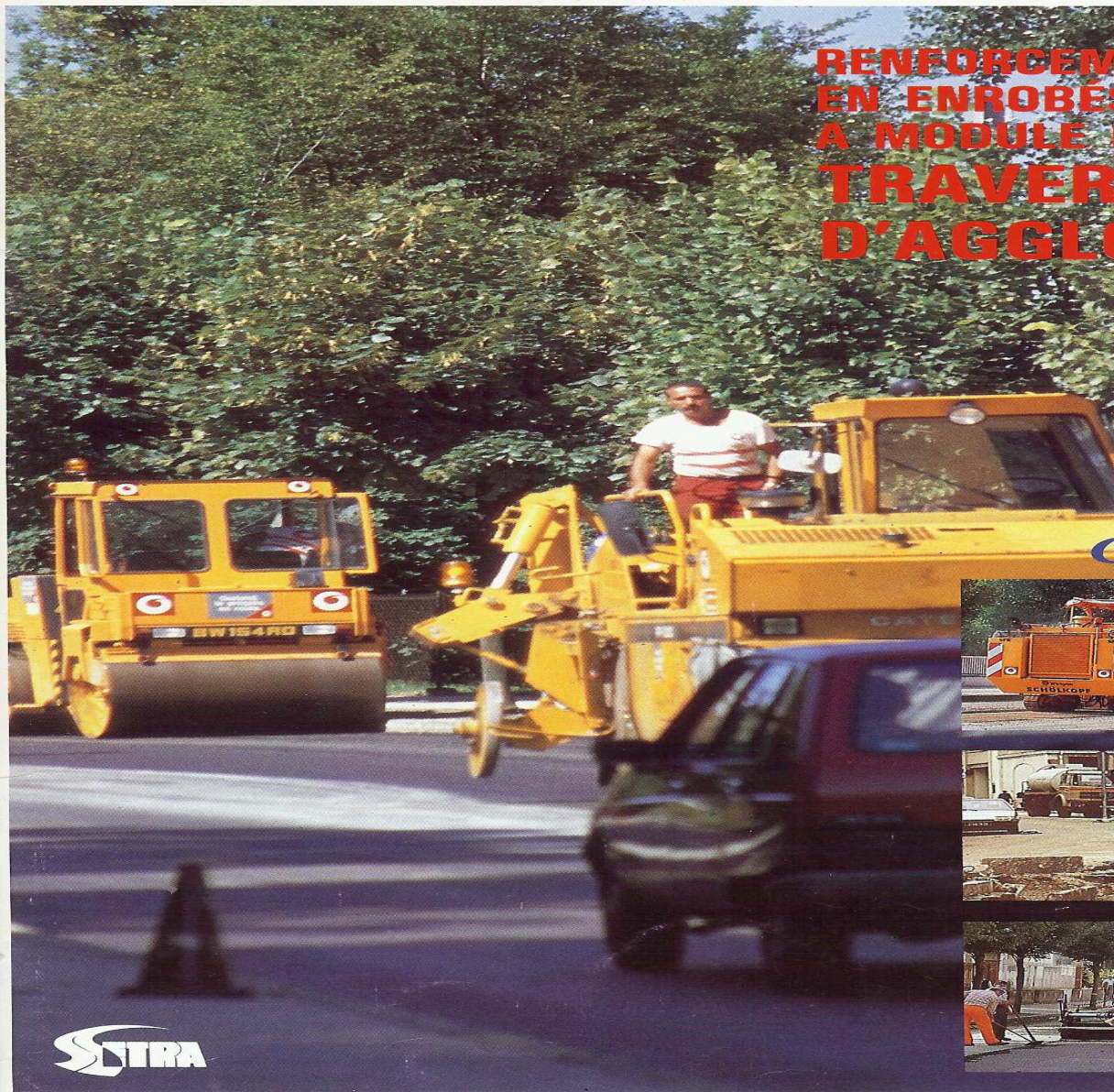
Ministère de l'Équipement,
du Logement,
de l'Aménagement du Territoire,
et des Transports.

Direction
des Routes

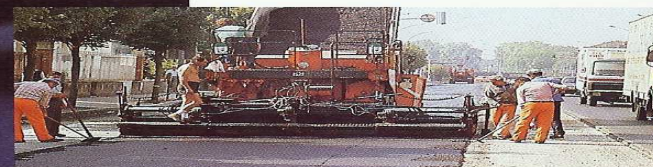
Direction de la Sécurité
et de la Circulation Routières

RENFORCEMENTS EN ENROBÉS A MODULE ÉLEVÉ EN TRAVERSÉE D'AGGLOMÉRATION

Guide technique



STRA



31 mai et 1 Juin

M. DAUZATS

18

Renforcement en EME en traversées d'agglomération

- Deux volets du guide:
 - 1)Rechargement avec ou sans fraisage préalable
 - 2)Réfection de chaussée en épaisseur limitée,
- On se limitera à la présentation de quelques résultats sans rentrer dans les détails .

Epaisseurs de renforcement en EME sans fraisage

- Calcul préalable du trafic en Ne
- Découpage en sections homogènes Ci à partir de la déflexion caractéristique,

Déflexion mm/100	0 50	50 75	75 100	100 150	150 200	200 300
Classe Cj	C1	C2	C3	C4	C5	C6

- Epaisseurs d'enrobés mesurées in situ:
- $e1 < 5\text{cm}$
- $5\text{cm} < e2 < 10\text{cm}$
- $e3 > 10\text{cm}$
- Solution de rechargement sans fraisage:
- $R = R_o - \Delta r + \text{couche de roulement}$

Ne(x10 ⁶)	C2			C3			C4			C5			C6		
Epaisseurs de noir	e1	e2	e3	e1	e2	e3	e1	e2	e3	e1	e2	e3	e1	e2	e3
7 à 12	14	13	11	16	16	15	19	19	18						
4,5 à 7 TC6	12	8		15	13	11	18	17	17						
2,75 à 4,5 TC6				12	10	8	15	15	14	18	17	16			
1,75 à 2,75 TC5				10			14	13	12	16	16	15			
1,25 à 1,75 TC5							12	10	8	14	13	12	16	16	15
0,9 à 1,15 TC4							10			13	12	10	15	15	14
0,5 à 0,9 TC3										10	9		13	12	11
0,3 à 0,5 TC2										8			11	10	9

R calculé pour une couche de roulement de 2cm

Si couche de Roulement ≠ 2cm $\Delta r = (e - 2) / 2$

Si fraisage préalable $R = R_0 - \Delta r + 0,6F + c.\text{de roulement}$

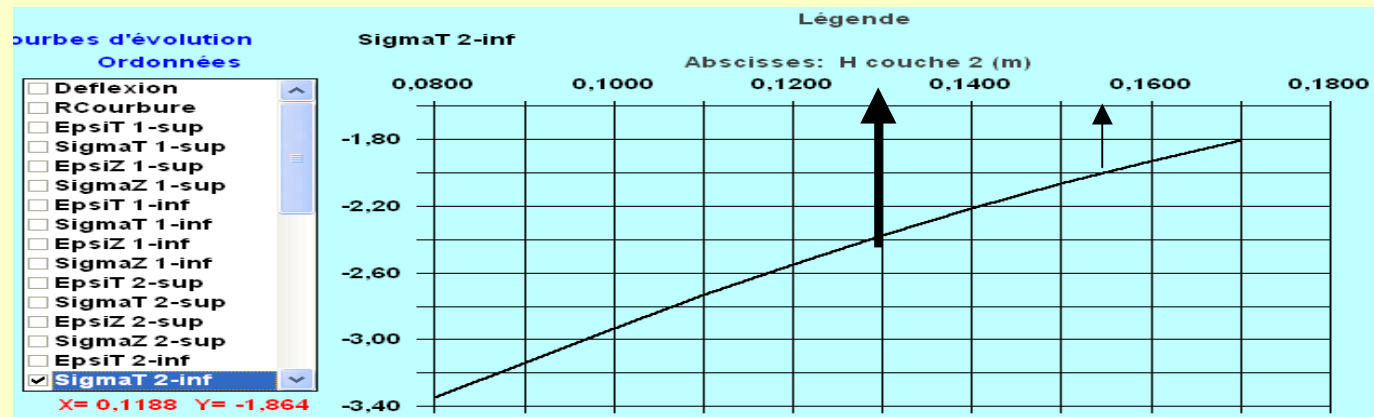
Vérification par Alizé

- Trois cas sont traités :déflexions C5 , C6,C4
- On constate que sigma T est >>> à 2MPa

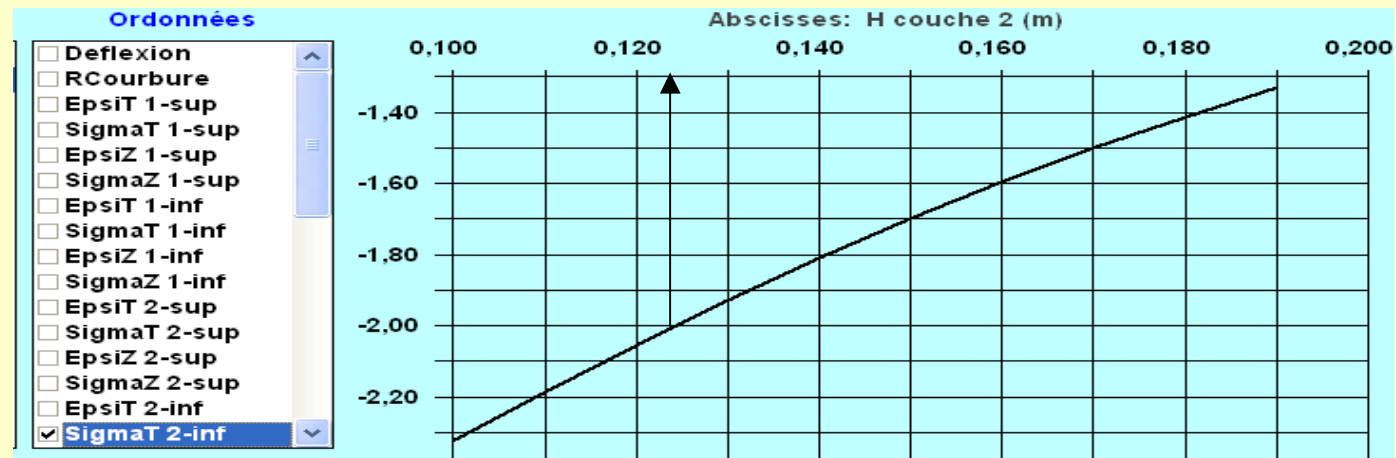
Trafic Ne 10 ⁶	Déflexion mm/100	Structure anc. chaussée	Esol MPa	εt μdef	σt MPa	εz μdef	renforcement	D apr Trx mm/100
0,3 à 0,5	200	5BB 2000MPa	30	150	2,9	986	8EME2 +2BB	118
0,3 à 0,5	300	25cm (4xEs)	20	140	2,7	900	11EME2+2BB	137
0,9 à 1,15	150	sol	41	120	2,32	668	10EME2 +2BB	83

la représentation graphique des contraintes , permet une approche plus rationnelle sachant que ce renforcement sera appliquée sur une ancienne chaussée+/- consolidée

Vérification par Alizé



C5 8EME+2BB



C4 10EME
+2BB

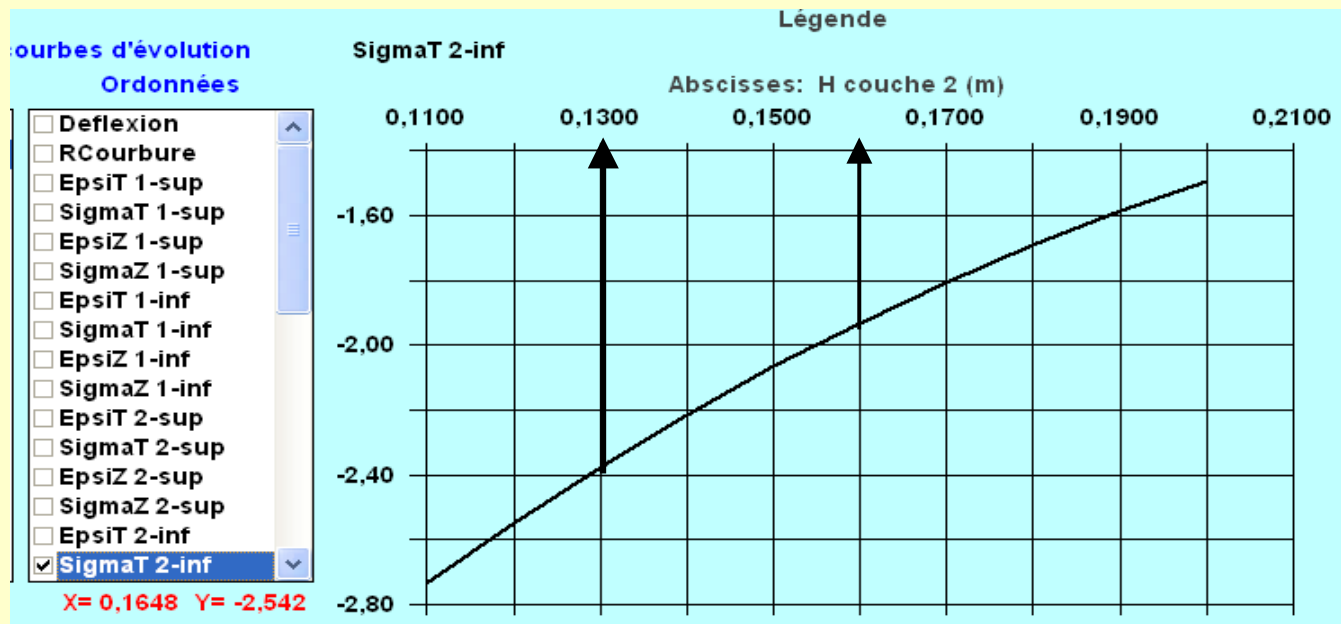
31 mai et 1 Juin

M. DAUZATS

23

Vérification par Alizé

C6 11EME+2BB



Si on majore la contrainte sigma t de 20% on constate qu'à l'exception du cas C4 on augmente les épaisseurs de +5cm pour C5 et +2cm pour C6

Réfection de chaussée à épaisseur de structure limitée (traverses)

- On procède à la détermination de la classe de portance à partir:
 - des déflexions avant travaux,
 - de l'épaisseur de noir ,
 - de l'épaisseur totale de l'ancienne chaussée y compris les matériaux liés
- 2cas sont traités:
 - -)**On conserve plus de 10cm du corps de l'ancienne chaussée.**
 - -)**Le décaissement envisagé atteint le sol support ou laisse moins de 10cm de l'ancienne chaussée**

Réfection de chaussée à épaisseur de structure limitée (traverses)

DETERMINATION DE LA CLASSE DE PORTANCE

CAS 1 La structure envisagée permet de conserver plus de 10 cm du corps de l'ancienne chaussée.

Epaisseur totale anc. ch ^{ée}		> 50 cm		< 50 cm	
Profondeur de décaissement		< 20 cm	> 20 cm	< 20 cm	> 20 cm
Déflexions avant travaux	Noir en place				
< 50 (C1)		renforcement non nécessaire			
50 - 75 (C2)	< 5		CP 3		
	5 - 10				
	> 10				
75 - 100 (C3)	< 5		CP 2 +		
	5 - 10				
	> 10				
100 - 150 (C4)	< 5		CP 2 -		
	5 - 10				
	> 10				
150 - 200 (C5)	< 5		CP 1 +		
	5 - 10				
	> 10				
200 - 300 (C6)	< 5		CP 1 -		
	5 - 10				
	> 10				

Réfection de chaussée à épaisseur de structure limitée (traverses)

**Tableau 1 : Structures à couches d'assises entièrement en enrobés à module élevé (EnME) avec conservation d'une partie de l'ancienne chaussée (> 10 cm).
Couche de roulement de 4 cm.**

SOLUTIONS S_e

Ne	CP3	CP2+	CP2-	CP1+	CP1- *
12	18	21	24	27	30
7	16	19	22	25	28
4,5	14	17	20	23	26
2,75	13	16	19	22	25
1,75		15	17	20	23
1,25		14	16	19	22
0,9			15	18	20
0,5				17	19
0,3					

* prévoir systématiquement une sous couche GRH ou GNT

Réfection de chaussée à épaisseur de structure limitée (traverses)

CAS 2 Le décaissement envisagé atteint le sol support ou laisse moins de 10 cm du corps de l'ancienne chaussée

Déflexions avant travaux	Noir en place	Epaisseur totale ancienne chaussée (y compris matériaux liés)	
		< 25 cm	25 - 50
< 50 (C1)		renforcement non nécessaire	
50 - 75 (C2)	< 5	CP 3	CP 2 +
	5 - 10		
	> 10		
75 - 100 (C3)	< 5	CP 2 +	CP 2 -
	5 - 10		
	> 10		
100 - 150 (C4)	< 5	CP 2 -	CP 1 +
	5 - 10		
	> 10		
150 - 200 (C5)	< 5	CP 1 +	CP 1 -
	5 - 10		
	> 10		
200 - 300 (C6)	< 5	CP 1 -	CP 0 *
	5 - 10		
	>		

* Cas en principe rarement rencontré, il est nécessaire de prévoir des travaux spécifiques.

Réfection de chaussée à épaisseur de structure limitée (traverses)

Tableau 1 bis : Structures à couches d'assises entièrement en enrobés à module élevé (EnME) avec décaissement de la totalité de l'ancienne chaussée (H restant < 10 cm). Couche de roulement de 4 cm.

SOLUTIONS Se

Ne	CP3	CP2+	CP2-	CP1+	CP1- *
12	19	23	26	30	33
7	18	22	25	28	31
4,5	17	20	23	27	30
2,75	16	19	22	25	28
1,75	15	18	21	24	27
1,25	14	17	20	23	26
0,9	13	16	19	22	25
0,5	12	15	17	20	23
0,3					

* prévoir systématiquement une sous couche GRH ou GNT

Prise en compte des EME dans Erasmus V5

- Les solutions proposées sont nettement plus confortables que les solutions de renforcement et dans tous les cas \geq à 12cm avec une couche de roulement de 4cm.
- Un cas concret la **RD 956 (84) Traversée de La bastide des Jourdans**

RD 956

Données

The screenshot displays a software interface for road data entry, organized into several panels:

- Climat:** Shows a sun icon and the location "Marseille".
- Trafic:** Includes a "Type de progression" dropdown, a "Taux d'accroissement à l'origine" input, and a truck icon. The year "2012" and "Voie 1 : 50 PL/j" are displayed.
- Essais: Voie 1:** Features a "Carottage" (core) icon and a "Déflexion" (deflection) icon. The deflection value is "248 150 ??? ???".
- Dégradations: Voie 1:** Shows the "Année du relevé" (survey year) as "2012". It includes three icons for "Fissure longitudinale sur BDR", "Faiencage sur BDR", and "Fissure longitudinale hors BDR".
- Structure:** Displays a list of road layers for "Voie 1":
 - beton bitumineux - 5,0 cm - 10 ans
 - beton bitumineux - 4,0 cm - 17 ans
 - Couche de GB - 5,0 cm - 25 ans
 - fins - A2
- Courant: Essai (Carottage):** Provides details for the current test (core):
 - Année: 2012
 - Layer: beton bitumineux - 5,0 cm - 10 ans
 - Epaisseur (cm): 5
 - Décollement: Oui
 - Layer: beton bitumineux - 4,0 cm - 17 ans
 - Epaisseur (cm): 4
 - Décollement: Oui
 - Layer: Couche de GB - 5,0 cm - 25 ans
 - Epaisseur (cm): 5
 - Décollement: Oui

RD 956 diagnostic

Solution 1	Fatigue	Fluage	Dégâts dus au gel	Fissuration thermique	Remontée de fissures	Drainage
Section Trafic: 50. PL/jour: t3- Déflexion calculée (2012) 248 mm/100 Calage mécanique (2011) Déflexion calculée:248 mm/100 Valeur de calage:248 mm/100	Synthèse experte fort(e)	Synthèse experte non	Analyse de surface très fort Analyse rationnelle non Synthèse experte non	Synthèse experte non	X	Synthèse experte mauvais
bb-standard Béton bitumineux (n°1) 5 cm, 10 an(s), décollé 2000 MPa / 5 cm	Analyse de surface très fort Analyse rationnelle très fort(e) Synthèse experte fort(e)	Synthèse experte non		Analyse de surface non	Analyse de surface très fort Analyse rationnelle non Synthèse experte non	X
bb-standard Béton bitumineux (n°2) 4 cm, 17 an(s), décollé 2000 MPa / 4 cm	Analyse rationnelle très fort(e) Synthèse experte fort(e)			Analyse rationnelle non Synthèse experte non	Analyse rationnelle non Synthèse experte non	X
gb4.2 Enrobé de base (n°3) 5 cm, 25 an(s), décollé 2000 MPa / 5 cm	Analyse rationnelle très fort(e) Synthèse experte fort(e)			Analyse rationnelle fort(e) Synthèse experte fort(e)	Analyse rationnelle non Synthèse experte non	X
Sol 41 MPa	Analyse de surface très fort Analyse rationnelle fort(e) Synthèse experte fort(e)	X	Analyse rationnelle non Synthèse experte non	X	X	X

Béton bitumineux (n°1)	5.0 cm	2000.0 MPa	n = 0.35	ept = -1070.0 10-6	Glissement
Béton bitumineux (n°2)	4.0 cm	2000.0 MPa	n = 0.35	ept = -871.0 10-6	Glissement
Enrobé de base (n°3)	5.0 cm	2000.0 MPa	n = 0.35	ept = -1030.0 10-6	Glissement
Sol		41.0 MPa	n = 0.35	epz = 2190.0 10-6	



Fissures longitudinales



Fissures longitudinales
avec la tranchée centrale
avec les reprises autour
des bouches à clé.

Les antennes de cette grosses
tranchée affaiblisent encore
la chaussée.



Carottages représentatif de
l'ensemble carottes

Etude par l'entreprise (SACER)

A la demande de l'agence Provence, nous avons mené un diagnostic de chaussée dans le cadre de l'aménagement de la RD 956 située sur la commune de La Bastide des Jourdans (84)

L'objectif est de proposer un renforcement de chaussée tout en optimisant la structure existante pour un trafic TC₂₀ de 50 PL/jour.

La solution proposée est la suivante :

Ancienne chaussée

BB décollé	5	cm
BB décollé	4	cm
BB collé	5	cm
PF granulaire support		

Solution variante

BBME	5	cm
EME	8	cm
Ancienne chaussée		

Nous proposons un renforcement par substitution -9 cm / + 13 cm, soit une élévation totale de 4 cm.

Les profondeurs de rabotage pourront être augmentées suivant l'état du fond de purge découvert en phase travaux.

Les épaisseurs données correspondent aux épaisseurs minimales à mettre en œuvre. Elles pourront être augmentées pour des raisons d'adaptation altimétrique du projet, tout en respectant les épaisseurs mini et maxi de chaque type d'enrobé : EME 0/14 entre 7 et 13 et BBME 0/10 entre 5 et 7 cm.

Etude par l'entreprise (SACER)

	Niveau calcul	EpsilonT horizontale	SigmaT horizontale	EpsilonZ verticale	SigmaZ verticale
Surface (z=0,000)					
h= 0,050 m E= 11 000 MPa nu= 0,35	0,000 m	93,8 X-J	1,924 X-J	-114,9 Z-R	0,657 Z-R
	0,050 m	30,6 X-R	0,718 X-J	-11,0 Z-R	0,511 Z-R
Collé (z=0,050 m)					
h= 0,080 m E= 14 000 MPa nu= 0,35	0,050 m	30,6 X-R	0,912 X-J	-17,2 Z-R	0,511 Z-R
	0,130 m	-142,3 Y-J	-2,766 Y-R	133,0 Z-R	0,067 Z-R
Collé (z=0,130 m)					
h= 0,040 m E= 2 000 MPa nu= 0,35	0,130 m	-142,3 Y-J	-0,364 Y-R	151,0 Z-R	0,067 Z-R
	0,170 m	-230,3 Y-J	-0,619 Y-R	217,4 Z-R	0,035 Z-J
Collé (z=0,170 m)					
h infini E= 38 MPa nu= 0,35	0,170 m	-230,3 Y-J	0,006 Y-R	767,5 Z-R	0,035 Z-J
Déflexion maximale = 96,4 mm/100 (entre-jumelage)					
Rayon de courbure = 365,2 m (entre-jumelage)					

epsilonT adm = 152µdef epsilonZ adm = 1045µdef

Contrainte à la base de l'EME élevée = 2,76MPa

Application du guide des traverses RD 956

- Dans un premier temps on fait l'hypothèse qu'il n'y a pas de problèmes de seuils et l'on applique le guide **sans enlèvement de couche**:
- Classe de déflexion C6, épaisseur d'enrobé 15cm soit e3,
- trafic TC2 20 Ne= 0,2 .106
- Solution = 9cm d'EME2 + 2cm BBTM ???

RD956							
épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,025	5400,0	0,350	0,000	121,8	1,249	-129,8	0,657
	collé		0,025	83,8	0,826	-53,4	0,628
0,090	14000,0	0,350	0,025	83,8	2,138	-98,0	0,628
	collé		0,115	-164,0	-3,170	154,5	0,114
0,050	2000,0	0,350	0,115	-164,0	-0,405	184,9	0,114
	glissant		0,165	-314,2	-0,831	295,5	0,055
0,040	2000,0	0,350	0,165	30,5	0,144	-36,9	0,055
	glissant		0,205	-77,1	-0,188	85,9	0,051
0,050	2000,0	0,350	0,205	63,7	0,254	-78,3	0,051
	collé		0,255	-65,9	-0,157	69,7	0,043
infini	38,0	0,350	0,255	-65,9	0,019	751,8	0,043

variante 1: Durée= 00:00sec

Grandeurs affichées

☒ tableau 1 ☐ tableau 2

☐ tableau 3 ☐ tableau 4

☐ tableau 5 ☐ tableau 6

☐ tableau 7 ☐ tableau 8

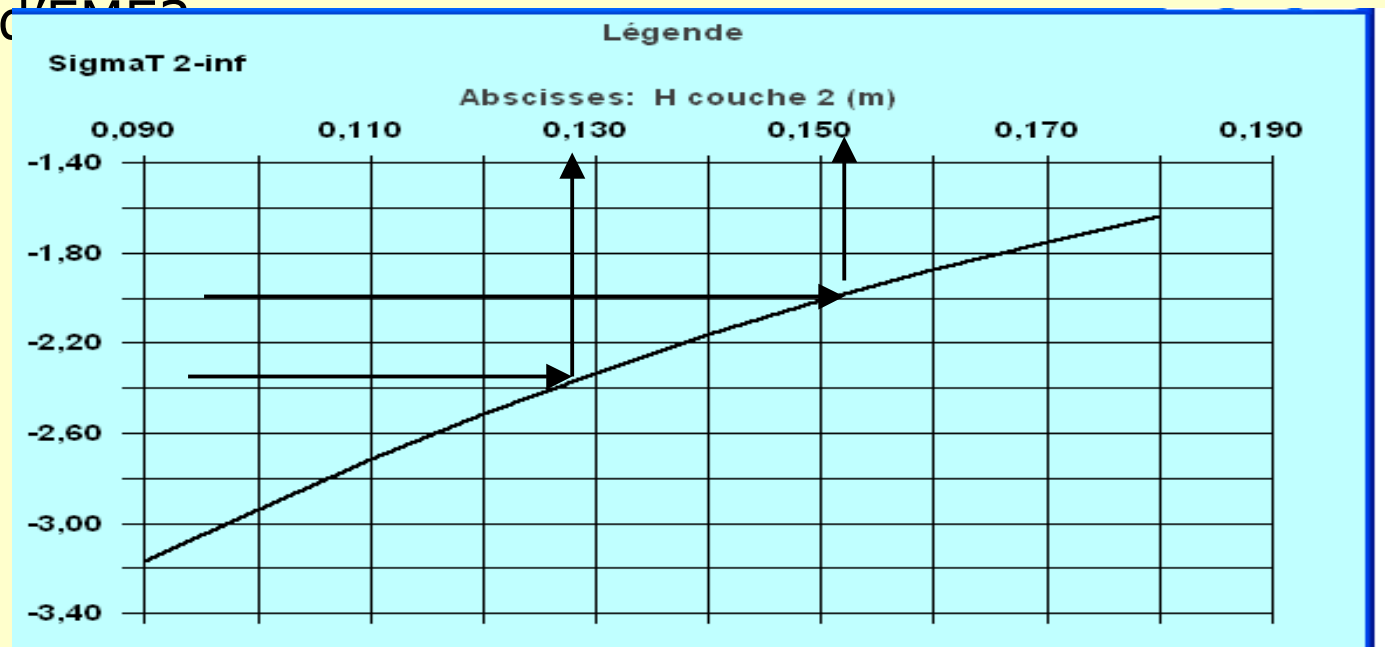
Déflexion = 112,8 mm/100

entre-jumelage

Rdc = 265,2 m

Application du guide des traverses RD 956

- Si l'on fait varier l'épaisseur d'EME on constate que pour respecter le seuil en σ_T à 2MPa à la base du renforcement cela conduit à un renforcement de 12 à 13cm d'EME







Application du guide des traverses RD 956

- On suit les préconisations de l'entreprise : fraisage 9cm
On admet que la partie de chaussée restante est >10cm On considère que la classe de portance est CP1+.
- La solution proposée est très confortable ($\text{SigmaT} \ll 2\text{Mpa}$):
- 17cm EME2 + 4 BB

RD956								variante 1: Durée= 00:00sec	
épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)	Grandeurs affichées	
0,040	5400,0	0,350	0,000	68,5	0,636	-17,5	0,658	<input checked="" type="radio"/> tableau 1	<input type="radio"/> tableau 2
	collé		0,040	45,0	0,484	16,8	0,631	<input type="radio"/> tableau 3	<input type="radio"/> tableau 4
0,170	14000,0	0,350	0,040	45,0	1,246	-28,0	0,631	<input type="radio"/> tableau 5	<input type="radio"/> tableau 6
	collé		0,210	-81,4	-1,574	76,3	0,036	<input type="radio"/> tableau 7	<input type="radio"/> tableau 8
0,050	2000,0	0,350	0,210	-81,4	-0,213	85,8	0,036		
	collé		0,260	-120,8	-0,331	115,0	0,018		
infini	38,0	0,350	0,260	-120,8	0,003	399,1	0,018		
								Déflexion =66,6 mm/100	
								entre-jumelage	
								Rdc = 895,7 m	

Etude Erasmus V5 RD 956

Résultats de conception	Coût max. (k€)	Modèle mécani...	Durée de vie ...	Déflexion	Epaisseur t...	Problèmes vérifiés	Critères dimensionnants
2012 : BBSG-0/10-CLASSE-2 (N) (6.0 cm) Liant d'accrochage 2012 : EME-0/14-CLASSE-2 (N) (10.0 cm) Liant d'accrochage Enlèvement de couche	192.0		> 50	76.0	11.0	Fatigue de Sol Fatigue de bbsg-0/10-C2 Problème heuristique de bbsg-0/10-C2 Fatigue de eme-0/14-C2 Problème heuristique de eme-0/14-C2	eme-0/14-C2 Contrainte tangentielle
2012 : BB très mince 0/10 (N) (2.5 cm) Liant d'accrochage 2012 : EME-0/14-CLASSE-2 (N) (14.0 cm) Liant d'accrochage Enlèvement de couche	218.0		> 50	72.0	11.0	Fatigue de Sol Fatigue de BB très mince 0/10 Problème heuristique de BB très mince 0/10 Fatigue de eme-0/14-C2 Problème heuristique de eme-0/14-C2	eme-0/14-C2 Contrainte tangentielle
2012 : BBSG-0/10-CLASSE-2 (N) (6.0 cm) Liant d'accrochage 2012 : EME-0/14-CLASSE-2 (N) (8.0 cm) Liant d'accrochage	144.0		> 50	77.0	14.0	Fatigue de Sol Fatigue de bbsg-0/10-C2 Problème heuristique de bbsg-0/10-C2 Fatigue de eme-0/14-C2 Problème heuristique de eme-0/14-C2	eme-0/14-C2 Contrainte tangentielle
2012 : BB très mince 0/10 (N) (2.5 cm) Liant d'accrochage 2012 : EME-0/14-CLASSE-2 (N) (11.0 cm) Liant d'accrochage	159.0		> 50	77.0	13.0	Fatigue de Sol Fatigue de BB très mince 0/10 Problème heuristique de BB très mince 0/10 Fatigue de eme-0/14-C2 Problème heuristique de eme-0/14-C2	eme-0/14-C2 Contrainte tangentielle

Solution Erasmus sans fraisage

Solution de conception 2									
Résultats	Coût min	Coût max	Adhérence	Bruit	Amélioration de l'uni	Durée de vie réelle	Déflexion	Epaisseur totale	Fiss. Therm.
2012 - 11.0 cm - EME-0/14-CLASSE-2 (N)	116.0	159.0	bonne	bonne	très bonne	> 50	77.0	13.0	100.0
2012 - 2.5 cm - BB très mince 0/10 (N)									
CAM Problèmes vérifiés	Problèmes vérifiés		Critères dimensionnant		Indice gel alerte		Barrière légale	Niveau barrière sol	
BB très mince 0/10 - PL Cumules: 443426. - CAM: 0.7 eme-0/14-C2 - PL Cumules: 443426. - CAM: 0.7 Sol - PL Cumules: 443426. - CAM: 0.699999	Fatigue de Sol Fatigue de BB très mince 0/10 Problème heuristique de BB très mince 0/10 Fatigue de eme-0/14-C2 Problème heuristique de eme-0/14-C2 Contrainte tangentielle de eme-0/14-C2		eme-0/14-C2 Contrainte tangentielle						



	Epaisseur	MPa	Coeff. Poisson	Critère	décollement
BB très mince 0/10 (n°1)	2.5 cm	5 400 mPA	N=0,35	Compression	non
eme-0/14-C2 (n°2)	11.0 cm	14 000 mPA	N=0,35	ept= -103.0 10-6 (Adm = 163.7 10-6)	non
Béton bitumineux (n°3)	5.0 cm	2 000 mPA	N=0,35	ept= -172.0 10-6	frottement
Béton bitumineux (n°4)	4.0 cm	2 000 mPA	N=0,35	ept= -109.0 10-6	frottement
Enrobé de base (n°5)	5.0 cm	2 000 mPA	N=0,35	ept= -123.0 10-6	frottement
Sol		41 mPA	N=0,35	epz= 515.0 10-6 (Adm = 700.7 10-6)	

Solution Erasmus avec fraisage de la première couche d'enrobés

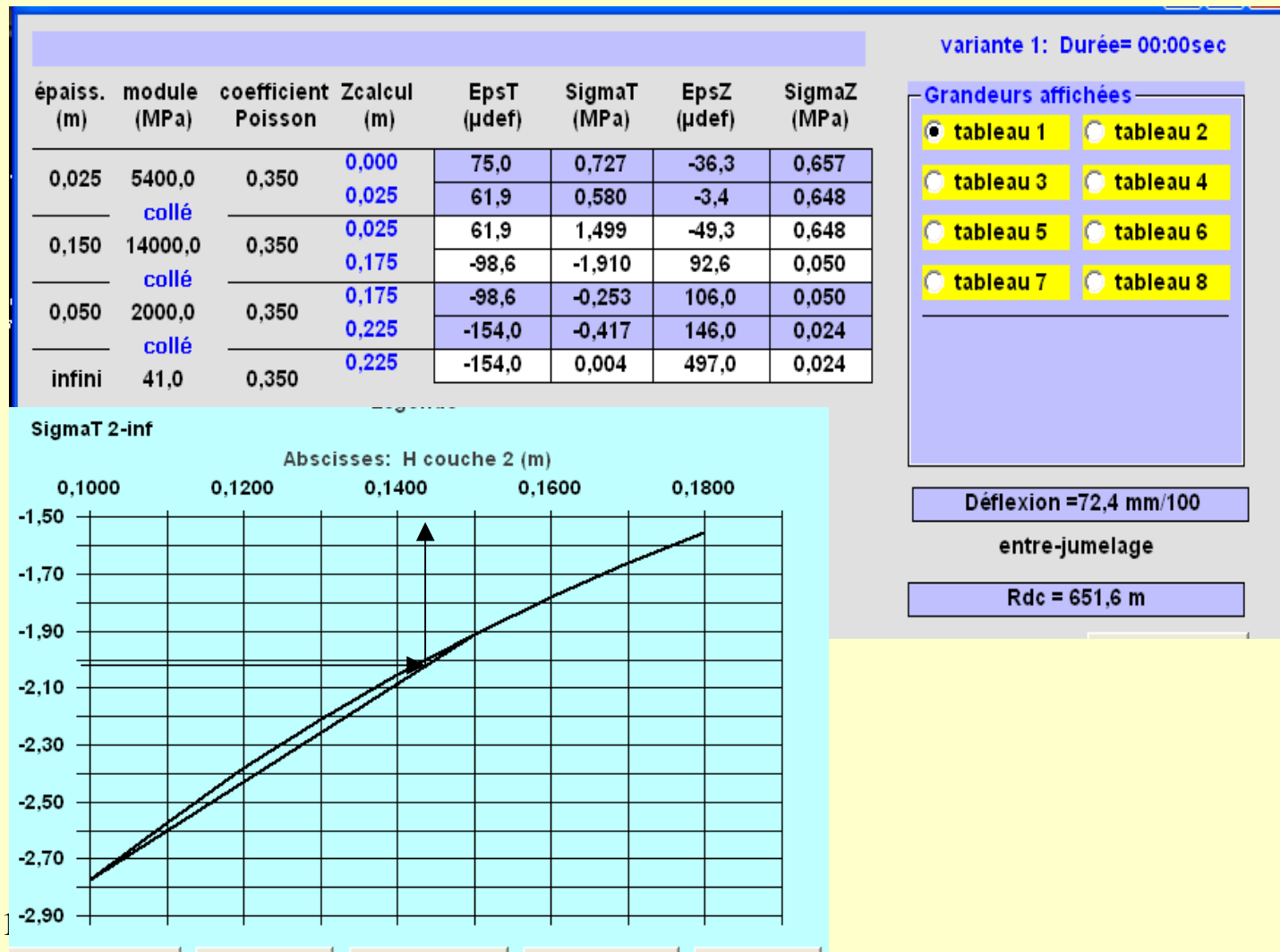
Solution de conception 4									
Résultats	Coût min	Coût max	Adhérence	Bruit	Amélioration de l'uni	Durée de vie réelle	Déflexion	Epaisseur totale	Fiss. Therm.
Enlèvement de couche 2012 - 14.0 cm - EME-0/14-CLASSE-2 (N) 2012 - 2.5 cm - BB très mince 0/10 (N)	158.0	218.0	bonne	bonne	très bonne	> 50	72.0	11.0	100.0
CAM Problèmes vérifiés	Problèmes vérifiés		Critères dimensionnant		Indice gel alerte	Barrière légale	Niveau barrière sol		
BB très mince 0/10 - PL Cumules: 443426. - CAM: 0.7 eme-0/14-C2 - PL Cumules: 443426. - CAM: 0.7 Sol - PL Cumules: 443426. - CAM: 0.699999	Fatigue de Sol Fatigue de BB très mince 0/10 Problème heuristique de BB très mince 0/10 Fatigue de eme-0/14-C2 Problème heuristique de eme-0/14-C2 Contrainte tangentielle de eme-0/14-C2		eme-0/14-C2 Contrainte tangentielle						

	Epaisseur	MPa	Coeff. Poisson	Critère	décollement
BB très mince 0/10 (n°1)	2.5 cm	5 400 mPA	N=0,35	Compression	non
eme-0/14-C2 (n°2)	14.0 cm	14 000 mPA	N=0,35	ept= -96.7 10-6 (Adm = 162.2 10-6)	non
Béton bitumineux (n°3)	4.0 cm	2 000 mPA	N=0,35	ept= -140.0 10-6	frottement
Enrobé de base (n°4)	5.0 cm	2 000 mPA	N=0,35	ept= -119.0 10-6	frottement
Sol		41 mPA	N=0,35	epz= 460.0 10-6 (Adm = 700.7 10-6)	

Solutions ERASMUS avec fraisage de 2 couches d'enrobés

Résultats de conception	Modèle mécanique	Déflexion	Epaisseur totale	Problèmes vérifiés	Critères dimensionnants
2012 : BBSG-0/10-CLASSE-2 (N) (6.0 cm) Liant d'accrochage 2012 : EME-0/14-CLASSE-2 (N) (12.0 cm) Liant d'accrochage 2012 : Fraisage (9.0 cm)		73.0	9.0	Fatigue de Sol Fatigue de bbsg-0/10-C2 Problème heuristique de bbsg-0/10-C2 Fatigue de eme-0/14-C2 Problème heuristique de eme-0/14-C2 Contrainte tangentielle de eme-0/14-C2	eme-0/14-C2 Contrainte tangentielle
2012 : BB très mince 0/10 (N) (2.5 cm) Liant d'accrochage 2012 : EME-0/14-CLASSE-2 (N) (15.0 cm) Liant d'accrochage 2012 : Fraisage (9.0 cm)		72.0	8.0	Fatigue de Sol Fatigue de BB très mince 0/10 Problème heuristique de BB très mince 0/10 Fatigue de eme-0/14-C2 Problème heuristique de eme-0/14-C2 Contrainte tangentielle de eme-0/14-C2	eme-0/14-C2 Contrainte tangentielle
BB très mince 0/10 (n°1)	2.5 cm	5400.0 MPa	n= 0.35	Compression	Collage
eme-0/14-C2 (n°2)	15.0 cm	14000.0 MPa	n= 0.35	ept= -98.9 10-6 (Adm = 162.2 10-6)	Collage
Enrobé de base (n°6)	5.0 cm	2000.0 MPa	n= 0.35	ept= -154.0 10-6	frottement
Sol		41.0 MPa	n= 0.35	epz= 489.0 10-6 (Adm = 700.7 10-6)	

Vérification Alizé



Récapitulatif des solutions RD 956

- **Solutions Erasmus:**

- *1) Sans fraisage*
- 8EME + 6BBSG
- 11EME + 2,5BBTM
- *2) Fraisage 5cm:*
- 10EME + 6BBSG
- 14EME+2,5BBTM
- *3) Fraisage 9cm:*
- 12EME + 6BBSG
- 15EME+ 2,5BBTM

- **Solution SACER:**

- Fraisage 9 cm + 8cm EME + 5BBME

- **Solutions Guide:**

- *1) Sans fraisage:*
- 9EME + 2BBTM
- *2) Fraisage 9cm*
- 17EME+4BB

Conclusions explicatives

- Guide des traverses : Calculs effectués dans le guide avec un $K_c = 1,1$ (calage)
- Lors de l'élaboration du guide le recul sur les EME était seulement de 6 à 8 ans
- Dans ERASMUS comme dans le Catalogue des structures le $K_c = 1$
- Introduction depuis peu de temps (objectif de l'exposé) d'un seuil de contrainte à la base de l'EME fixé à 2MPa qui pourra être majoré de 20 à 30% selon le niveau de trafic (en cours de développement)