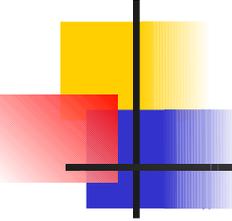


Erasmus études

Différentiels de conception
pour de très faibles
variations d'épaisseur de la
structure



Plan de l'exposé

- ***Généralités:***

- Contexte

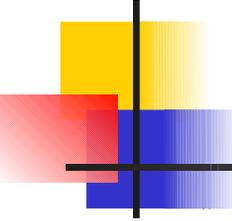
- Problématique

- Carottages interprétation

- Modélisation et cahier des charges

- Etude prospective

- ***Recherche de solutions cohérentes***



Contexte

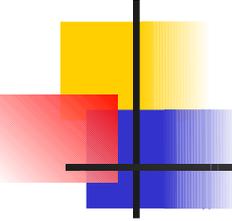
Par suite des entretiens successifs les structures semi-rigides peuvent au fil des années présenter des épaisseurs d'enrobés telles que le classement de ces structures peut poser des questions ?

S'agit-il toujours d'une structure semi rigide ,ou d'une structure mixte?

La définition d'une structure mixte au sens du guide des renforcements à savoir:

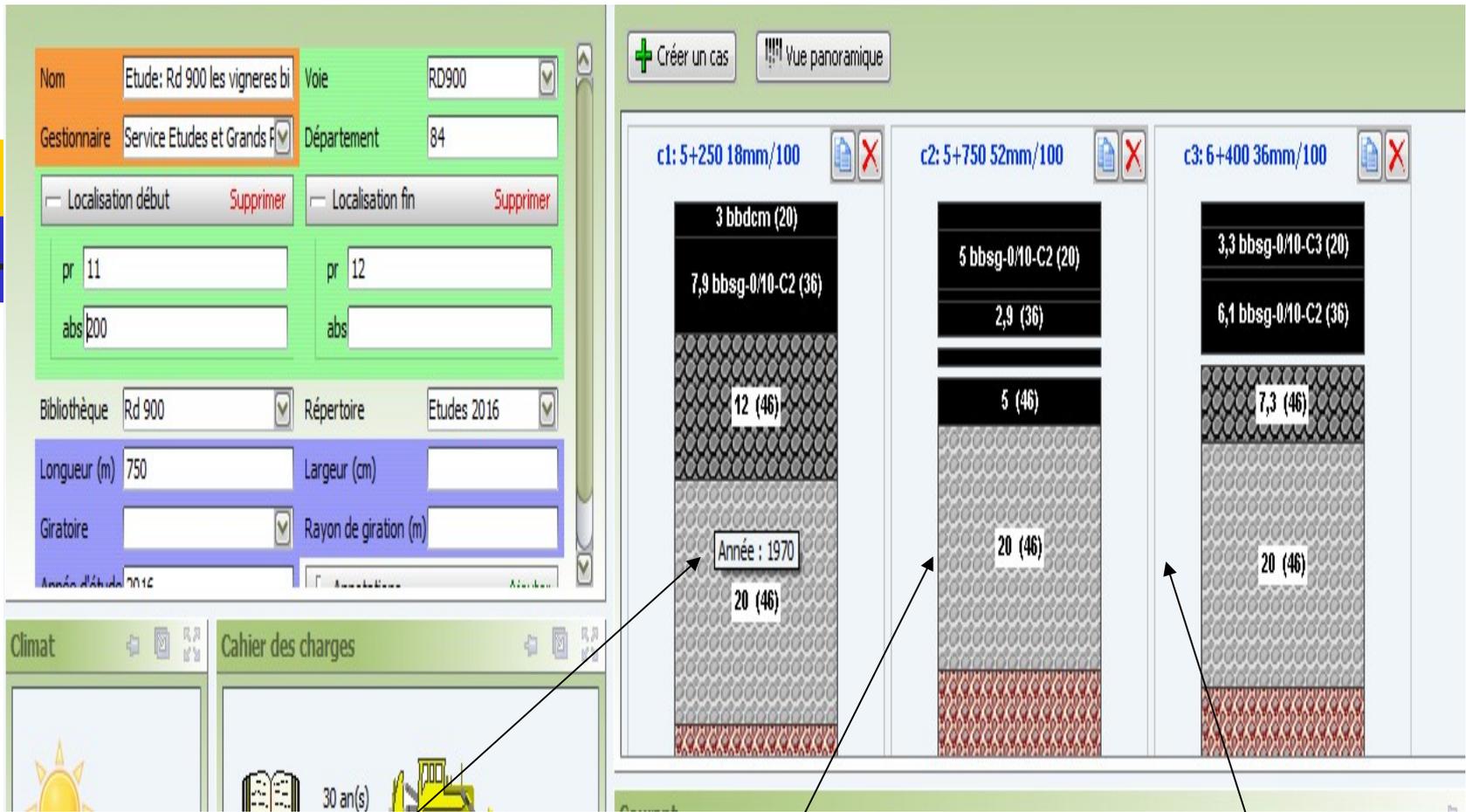
:rapport entre l'épaisseur totale des couches d'enrobés et épaisseur totale de la structure doit être compris entre 0,4 et 0,5.

dans Erasmus , on considère que lorsque l'épaisseur d'enrobés est égale à l'épaisseur de grave hydraulique , il s'agit d'une structure mixte.



Problématique

- Le traitement par Erasmus peut conduire à des solutions fort différentes si le système considère qu'il s'agit d'une structure mixte ou semi rigide.
- Cela suscite des interrogations pour le projeteur surtout lorsque dans l'étude les épaisseurs des carottes sont telles que le système considère une carotte comme une structure mixte et la carotte voisine comme une structure semi-rigide.
- **Exemple: RD 900 dans le Vaucluse les Vignères bis**



Couches collées
Enrobés 22,9
GH 20

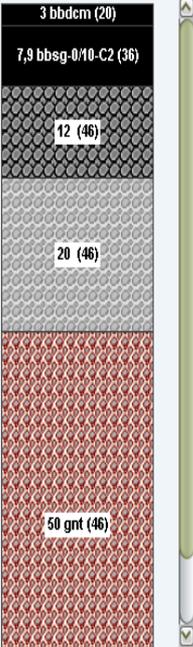
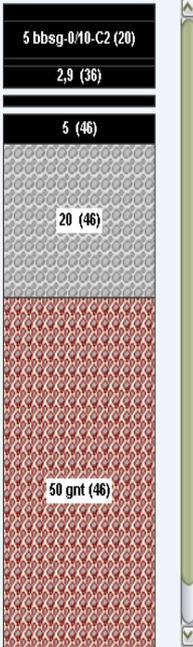
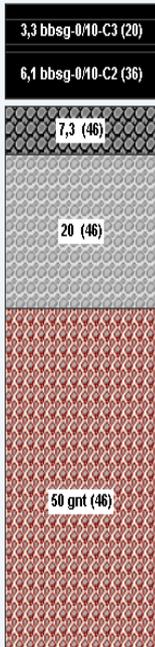
2 décolllements
Enrobés 18,9
GH 20

1 décolllement
Enrobés 19,9cm
GH=20cm

Structure mixte

Structure semi rigide à la limite

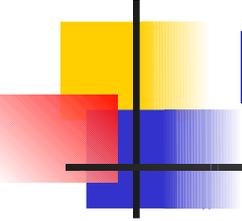
Structure semi rigide à la limite

	<p style="text-align: center;">c1 5+250 18mm/100</p> 	<p style="text-align: center;">c2 5+750 52mm/100</p> 	<p style="text-align: center;">c3 6+400 36mm/100</p> 
<p style="text-align: center;">2016 : BBSG-0/14-CLASSE-3 (N) (8.0 cm) Liant d'accrochage Enrobé de reprofilage</p>	<p style="text-align: center;">> 50 ans bbsg-0/14-C3 D= 0.17 (5%) C_Fond D0= 1.13 (50%) C_Fond D= 1.13 (50%) Defl0= 25 mm/100 Defl= 21 mm/100 RC0= 464 m RC= 618 m ModuleSol= 69 Mpa</p>	<p style="text-align: center;">Fatigue de bbsg-0/14-C3 D= 14.86</p> <p style="text-align: center;">C_Fond D0= 59.44 (50%) C_Fond D= 59.45 (50%) C1D D0= 0.59 (50%) C1D D= 1.06 (50%) Defl0= 50 mm/100 Defl= 49 mm/100 RC0= 387 m RC= 337 m ModuleSol= 40 Mpa</p>	<p style="text-align: center;">Fatigue de bbsg-0/14-C3 D= 20.60</p> <p style="text-align: center;">C_Fond D0= 7.77 (50%) C_Fond D= 7.78 (50%) C1D D0= 37.10 (50%) C1D D= 48.22 (50%) Defl0= 41 mm/100 Defl= 41 mm/100 RC0= 335 m RC= 324 m ModuleSol= 52 Mpa</p>
<p style="text-align: center;">2016 : BBSG-0/10-CLASSE-3 (N) (6.0 cm) Liant d'accrochage 2016 : GB-0/14-CLASSE-3 (N) (12.0 cm) Liant d'accrochage</p>	<p style="text-align: center;">> 50 ans gb-0/14-C3 D= 0.03 (5%) C_Fond D0= 1.13 (50%) C_Fond D= 1.13 (50%) Defl0= 25 mm/100 Defl= 17 mm/100 RC0= 464 m RC= 1151 m ModuleSol= 69 Mpa</p>	<p style="text-align: center;">39 ans gb-0/14-C3 D= 0.70 (5%) C_Fond D0= 59.44 (50%) C_Fond D= 59.44 (50%) C1D D0= 0.59 (50%) C1D D= 0.59 (50%) Defl0= 50 mm/100 Defl= 30 mm/100 RC0= 387 m RC= 798 m ModuleSol= 40 Mpa</p>	<p style="text-align: center;">44 ans gb-0/14-C3 D= 0.60 (5%) C_Fond D0= 7.77 (50%) C_Fond D= 7.77 (50%) C1D D0= 37.10 (50%) C1D D= 37.14 (50%) Defl0= 41 mm/100 Defl= 25 mm/100 RC0= 335 m RC= 829 m ModuleSol= 52 Mpa</p>

Vue panoramique

Export Xls Export Synthèse Pdf

Export Détail Pdf



Solutions envisageables pour réduire les effets de ces discontinuités

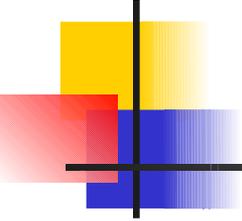
- Plusieurs solutions envisageables:
 - Augmentation factice de l'épaisseur d'enrobé,
 - Modification de la raideur du frottement en fonction de l'épaisseur du rechargement

Modèle mécanique C1 (structure)

bbsg-0/14-C3 (2016)	8.0 cm	7000.0 MPa	n= 0.35	ept= 51.0 10-6 (Adm = 72.6 10-6)	Collage	$\underline{b}=0.2$ $\underline{K}_r=0.815$ $\underline{S}_n=0.25$	$\underline{E}_6=100$ $\underline{K}_c=1.1$ $\underline{S}_h=1$	$\underline{R}_i=5$ $\underline{K}_s=1.000$
BB-DISCONTINU-COUCHE-M...	3.0 cm	2000.0 MPa	n= 0.35	ept= 51.0 10-6	Collage			
BBSG-0/10-CLASSE-2 (1980)	7.9 cm	2000.0 MPa	n= 0.35	ept= 50.0 10-6	Collage			
Enrobé de base (1970)	12.0 cm	2000.0 MPa	n= 0.35	ept= 37.5 10-6	Collage			
Grave hydraulique (1970)	20.0 cm	3150.0 MPa	n= 0.25	$\underline{\sigma}_t= 0.2$ MPa	Collage			
GRAVE-NON-TRAITE (1970)	10.0 cm	480.0 MPa	n= 0.35	epz= 82.7 10-6	Collage			
	10.0 cm	480.0 MPa	n= 0.35	epz= 65.1 10-6	Collage			
	10.0 cm	480.0 MPa	n= 0.35	epz= 55.9 10-6	Collage			
	10.0 cm	277.0 MPa	n= 0.35	epz= 64.2 10-6	Collage			
	10.0 cm	139.0 MPa	n= 0.35	epz= 79.9 10-6	Collage			
Sol D = 21 mm/100 RC = 518 m	600.0 cm	59.0 MPa	n= 0.35	epz= 104.4 10-6 (Adm = 358.9 10-6)	Collage		$\underline{\Delta}=12000$ $\underline{\alpha}=0.222$	
		10000.0 MPa	n= 0.35		Collage			

Modèle mécanique C3 (structure semi rigide)

					frottement2	$b=0.2$ $K_t=0.815$ $S_h=0.25$	$E_6=100$ $K_c=1.1$ $S_h=1$	$R_i=5$ $K_s=1.000$
bbsg-0/14-C3 (2016)	8.0 cm	7000.0 MPa	n= 0.35	$ept= 132.9 \cdot 10^{-6}$ (Adm = $72.6 \cdot 10^{-6}$)				
BB-DISCONTINU-COUCHE-M...	2.1 cm	2000.0 MPa	n= 0.35	$ept= 15.2 \cdot 10^{-6}$	Collage			
BBSG-0/10-CLASSE-3 (1996)	3.3 cm	5500.0 MPa	n= 0.35	$ept= 69.6 \cdot 10^{-6}$	Collage			
ENROBE-COULE-A-FROID (1...	1.1 cm	1000.0 MPa	n= 0.35	$ept= 73.6 \cdot 10^{-6}$	Collage			
BBSG-0/10-CLASSE-2 (1980)	6.1 cm	2000.0 MPa	n= 0.35	$ept= 144.1 \cdot 10^{-6}$	Glissement			
Enrobé de base (1970)	7.3 cm	2000.0 MPa	n= 0.35	Compression	Collage			
Grave hydraulique (1970)	20.0 cm	3000.0 MPa	n= 0.25	$sig_t= 0.2$ MPa	Collage			
GRAVE-NON-TRAITE (1970)	10.0 cm	480.0 MPa	n= 0.35	$epz= 149.5 \cdot 10^{-6}$	Collage			
	10.0 cm	480.0 MPa	n= 0.35	$epz= 122.6 \cdot 10^{-6}$	Collage			
	10.0 cm	416.0 MPa	n= 0.35	$epz= 117.9 \cdot 10^{-6}$	Collage			
	10.0 cm	208.0 MPa	n= 0.35	$epz= 148.5 \cdot 10^{-6}$	Collage			
	10.0 cm	104.0 MPa	n= 0.35	$epz= 186.7 \cdot 10^{-6}$	Collage			
Sol D = 41 mm/100 RC = 324 m	600.0 cm	52.0 MPa	n= 0.35	$epz= 243.7 \cdot 10^{-6}$ (Adm = $475.2 \cdot 10^{-6}$)	Collage			$A= 22500$ $alpha= 0.244$
		10000.0 MPa	n= 0.35		Collage			



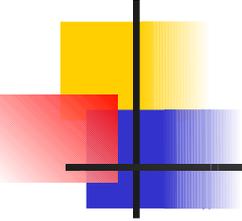
Modélisation par Erasmus

- **Structure bitumineuse ou mixte**

Calcul de l'épaisseur du renforcement ou du rechargement avec collage sur le support

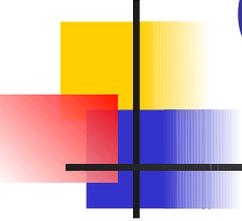
- **Structure semi rigide**

Calcul de l'épaisseur du renforcement ou du rechargement en introduisant une interface collée libellée «frottement»



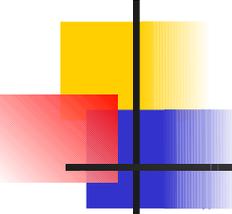
Les Interfaces du système

- Type Alize :collé, décollé,
- Erasmus: frottements entre renforcement et support (film de 2mm de matériau de faible module):
 - frottement 1 : $E_{interface}=10\text{MPa}$
 - frottement 2 : $E_{interface}=20\text{MPa}$
 - frottement 3 : $E_{interface}$ à module variable,
- Par défaut le système introduit un frottement de type 2



Objectifs et conséquences

- Sur structures mixtes ou bitumineuses à faibles déflexions le calcul conduit à de très faibles épaisseurs d'enrobés ces enrobés comme étant considérés collés à leur support ,
- Sur structure semi-rigides la prise en compte d'un frottement conduit à des solutions plus épaisses, à priori compatibles aux constats d'expertise



Simulations (augmentation factice de l'épaisseur d'enrobé C2 ,C3)

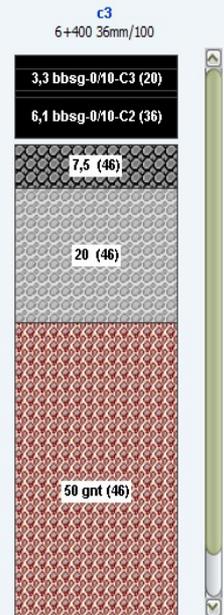
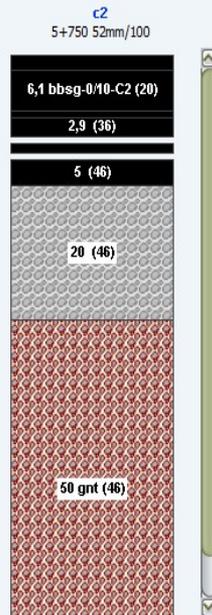
- Carotte C2 :18,9cm d'enrobés constatés
- Carotte C3 :19,9cm d'enrobés
« « « «
- Pour C2 l' ajout de 12mm d'enrobés]
- Pour C3 l'ajout de 2mm d'enrobés]
- Aboutit à des solutions de reprofilage qui ne sont plus en échec

Simulation (augmentation factice de l'épaisseur d'enrobé C2 ,C3)

Vue panoramique

Export Xls Export Synthèse Pdf

Export Détail Pdf



2016 : BBSG-0/14-CLASSE-3 (N) (6.0 cm)
Liant d'accrochage
Enrobé de reprofilage

> 50 ans
bbsg-0/14-C3 D= 0.00 (5%)
C_Fond D0= 76.17 (50%)
C_Fond D= 76.17 (50%)
CID D0= 0.35 (50%)
CID D= 0.64 (50%)
Defl0= 53 mm/100
Defl= 49 mm/100
RC0= 449 m
RC= 585 m
ModuleSol= 36 Mpa

> 50 ans
bbsg-0/14-C3 D= 0.04 (5%)
C_Fond D0= 4.86 (50%)
C_Fond D= 4.87 (50%)
CID D0= 32.77 (50%)
CID D= 47.32 (50%)
Defl0= 36 mm/100
Defl= 35 mm/100
RC0= 344 m
RC= 474 m
ModuleSol= 63 Mpa

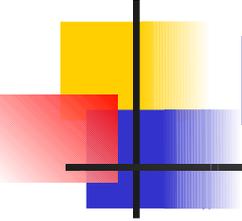
2016 : BBSG-0/10-CLASSE-3 (N) (6.0 cm)
Liant d'accrochage
2016 : GB-0/14-CLASSE-3 (N) (17.0 cm)
Liant d'accrochage

> 50 ans
gb-0/14-C3 D= 0.00 (5%)
C_Fond D0= 76.17 (50%)
C_Fond D= 76.17 (50%)
CID D0= 0.35 (50%)
CID D= 0.35 (50%)
Defl0= 53 mm/100
Defl= 25 mm/100
RC0= 449 m
RC= 1328 m
ModuleSol= 36 Mpa

> 50 ans
gb-0/14-C3 D= 0.01 (5%)
C_Fond D0= 4.86 (50%)
C_Fond D= 4.86 (50%)
CID D0= 32.77 (50%)
CID D= 32.80 (50%)
Defl0= 36 mm/100
Defl= 18 mm/100
RC0= 344 m
RC= 1289 m
ModuleSol= 63 Mpa

Simulation (augmentation de l'épaisseur d'enrobés- modèle mécanique) Les solutions reprofilage et renforcement sont acceptées disparition de l'interface F2.

bbsg-0/14-C3 (2016)	6.0 cm	7000.0 MPa	n= 0.35	ept= 21.3 10 ⁻⁶ (Adm = 72.6 10 ⁻⁶)	Collage	b=0.2 Kr= 0.815 Sn=0.25	E6=100 Kc= 1.1 Sh=1	Ri=5 Ks=1.000
BB-DISCONTINU-COUCHE-M...	2.3 cm	2000.0 MPa	n= 0.35	ept= 21.3 10 ⁻⁶	Collage			
BBSG-0/10-CLASSE-2 (1996)	6.1 cm	8900.0 MPa	n= 0.35	ept= 69.7 10 ⁻⁶	Collage			
ENROBE-COULE-A-FROID (1...	1.1 cm	2000.0 MPa	n= 0.35	ept= 70.1 10 ⁻⁶	Collage			
Enrobé de surface (1980)	2.9 cm	6390.0 MPa	n= 0.35	ept= 104.8 10 ⁻⁶	Glissement			
Enrobé de surface (1970)	2.6 cm	5670.0 MPa	n= 0.35	ept= 28.6 10 ⁻⁶	Glissement			
Enrobé de surface (1970)	5.0 cm	2000.0 MPa	n= 0.35	Compression	Collage			
Grave hydraulique (1970)	20.0 cm	3000.0 MPa	n= 0.25	sigt= 0.2 MPa	Collage			
GRAVE-NON-TRAITE (1970)	10.0 cm	480.0 MPa	n= 0.35	epz= 135.4 10 ⁻⁶	Collage			
	10.0 cm	480.0 MPa	n= 0.35	epz= 119.5 10 ⁻⁶	Collage			
	10.0 cm	292.0 MPa	n= 0.35	epz= 142.2 10 ⁻⁶	Collage			
	10.0 cm	146.0 MPa	n= 0.35	epz= 177.9 10 ⁻⁶	Collage			
	10.0 cm	73.0 MPa	n= 0.35	epz= 224.5 10 ⁻⁶	Collage			
Sol D = 49 mm/100 RC = 585 m	600.0 cm	36.0 MPa	n= 0.35	epz= 295.9 10 ⁻⁶ (Adm = 358.9 10 ⁻⁶)	Collage		A= 12000 alpha= 0.222	
		10000.0 MPa	n= 0.35		Collage			

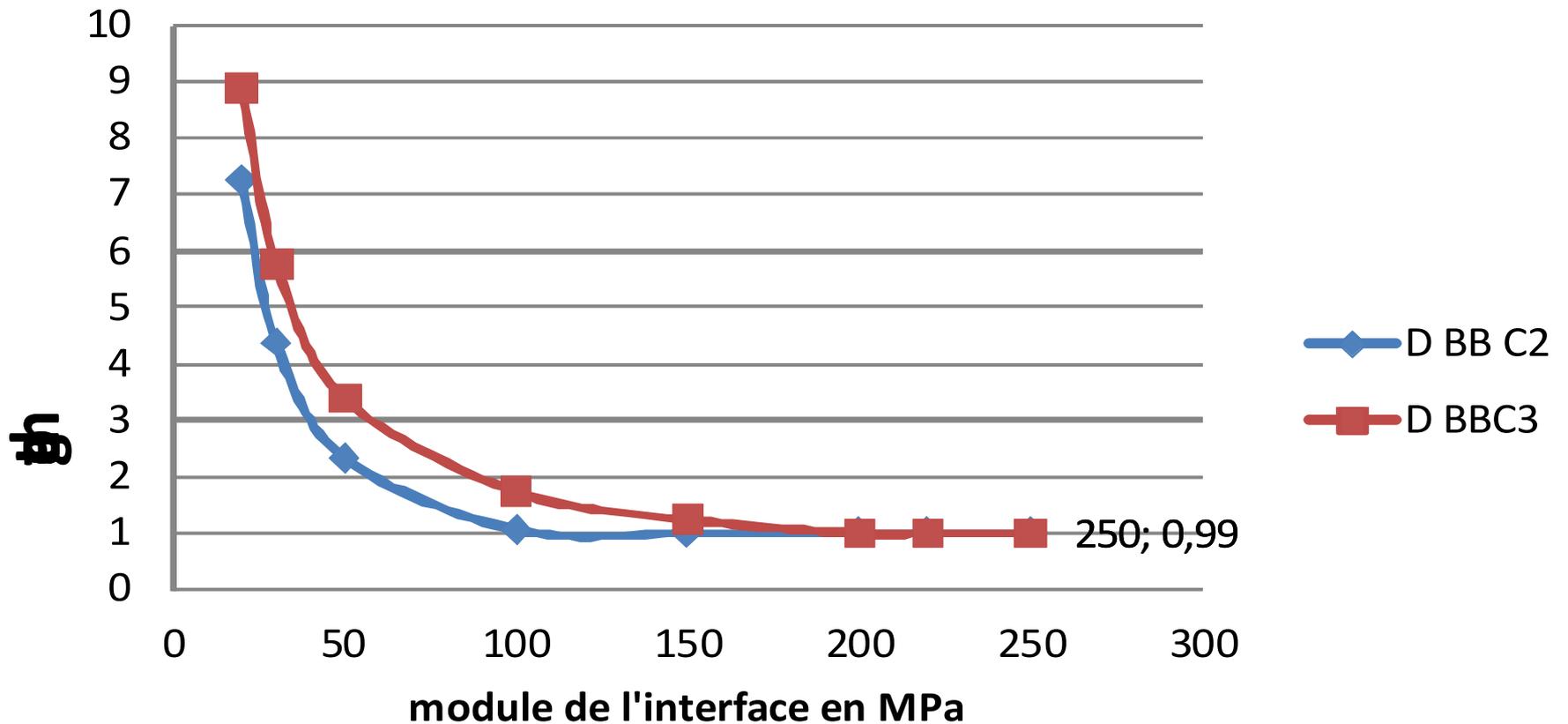


Modification de la raideur de l'interface

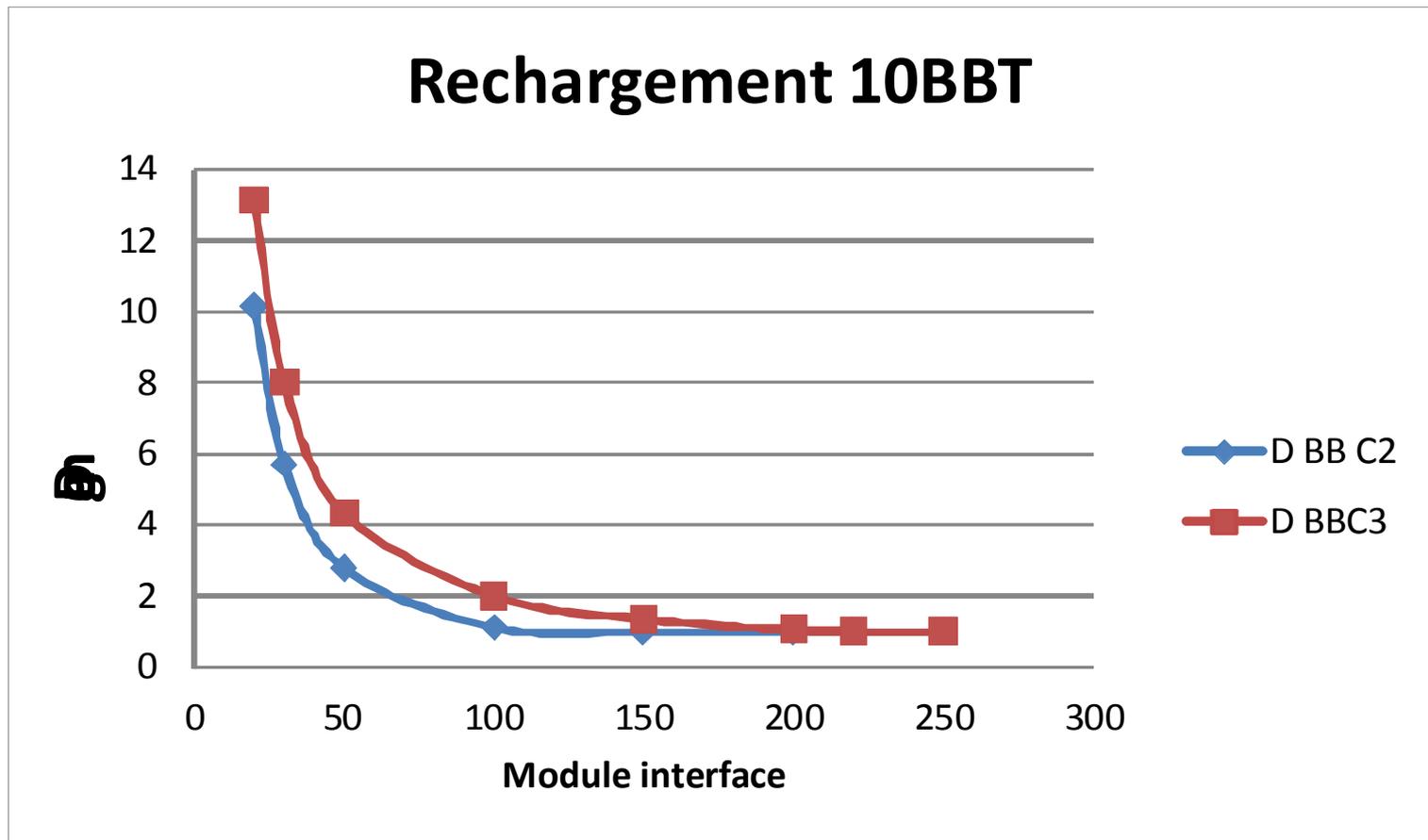
- En toute logique et à la condition que l'on considère toujours la couche de frottement comme collé à son support, l'augmentation de la raideur de l'interface doit conduire à une meilleure transmission des sollicitations malgré sa faible épaisseur : 2mm

Simulations: Influence de la raideur du frottement sur les dommages

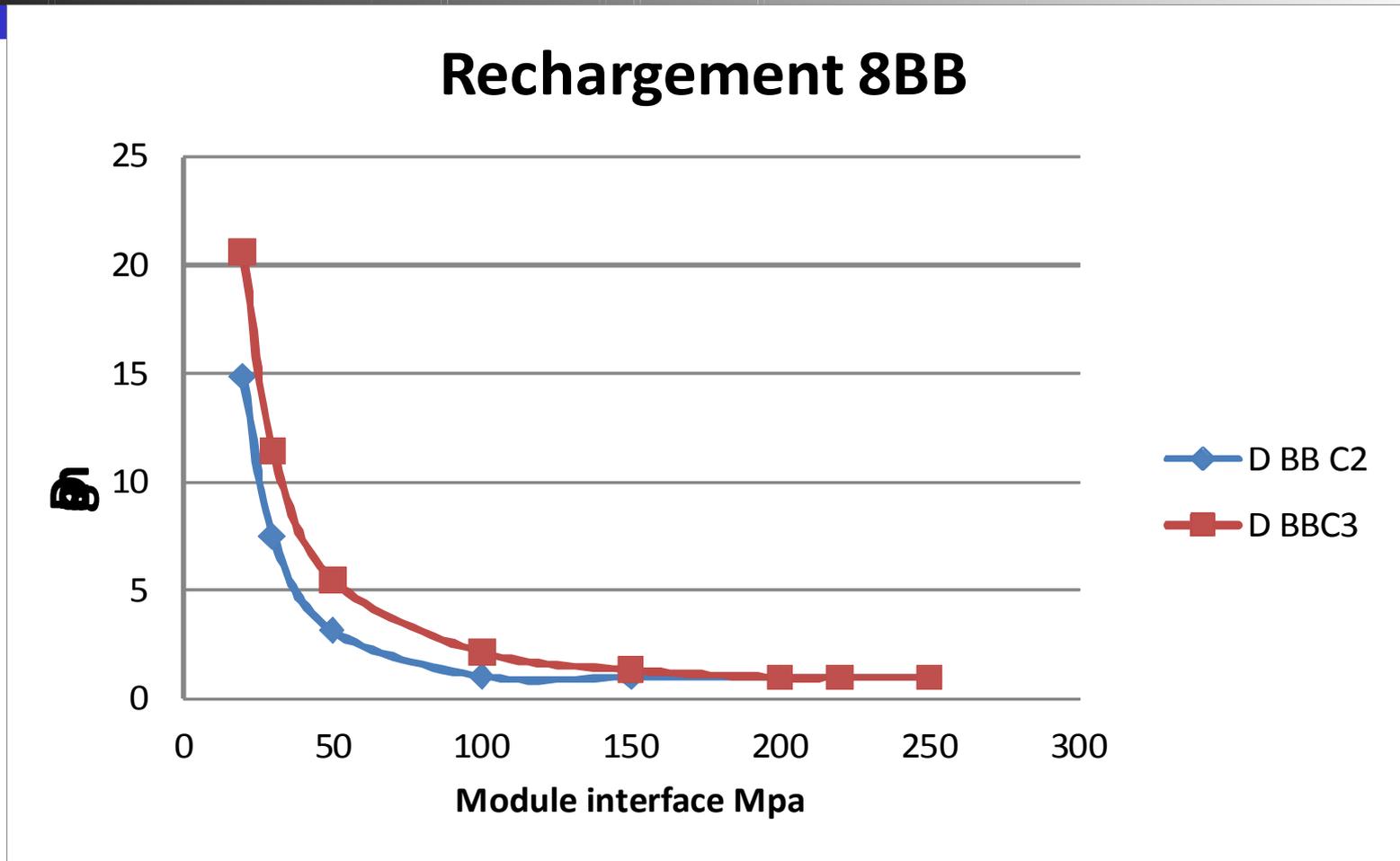
Epaisseur du rechargement 12cm BBSG



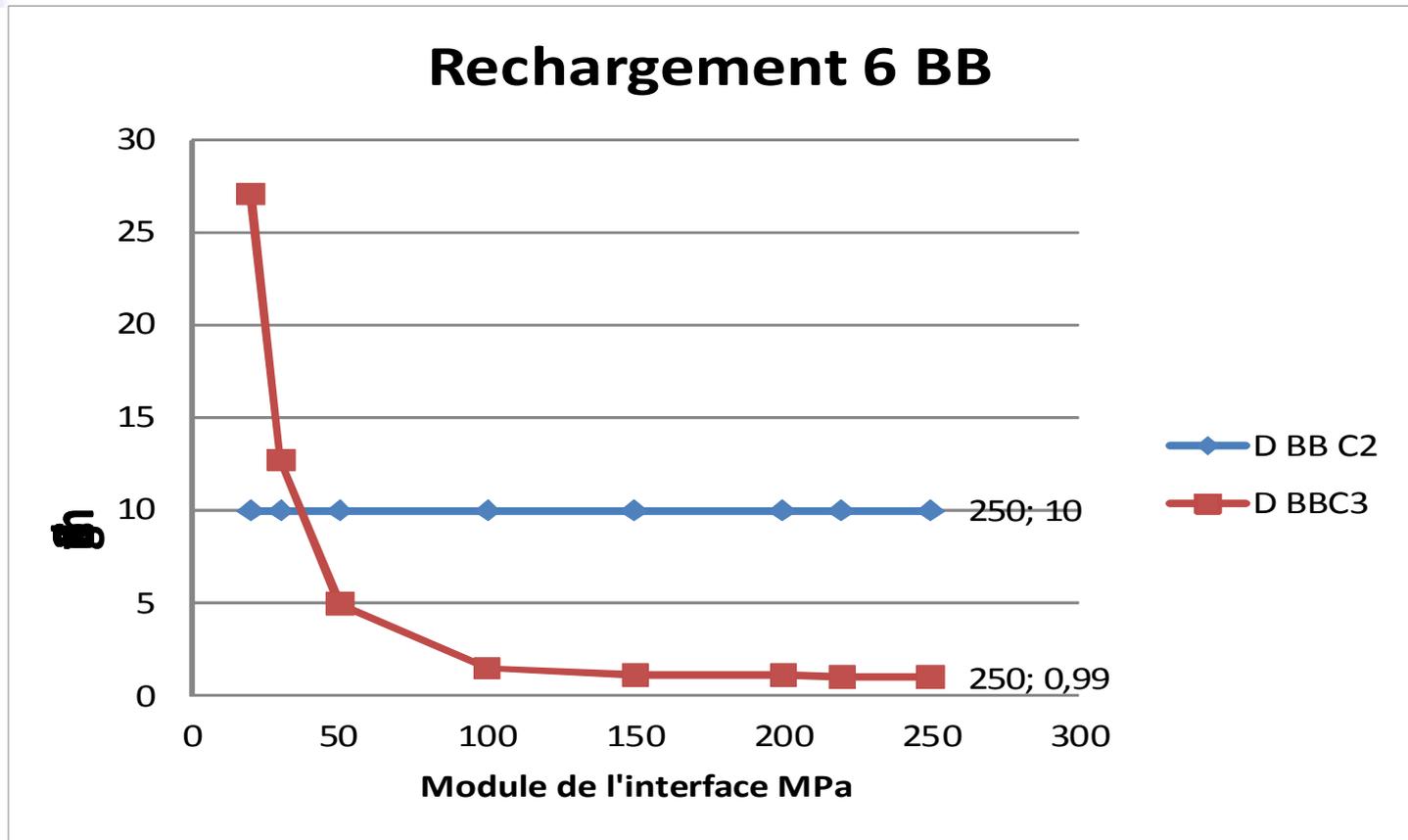
Simulations: influence de la raideur du frottement sur les dommages

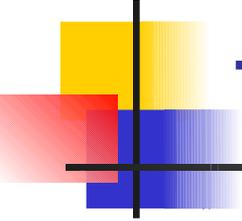


Simulation: influence de la raideur du frottement sur les dommages



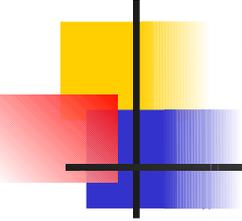
Simulation : influence de la raideur du frottement sur les dommages





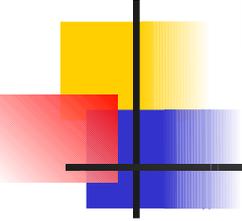
Augmentation du module du frottement : conclusions

- La lecture des graphiques fait apparaître que si le module de l'interface est compris entre 100 et 200MPa il n'y a pas échec de la solution variante proposée;
- Si l'épaisseur du rechargement est < 8 cm les dommages sont > 1 et les solutions sont en échec



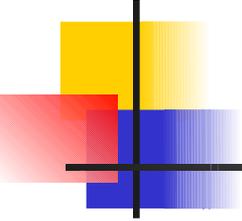
Perspectives- conclusions

- Même si l'épaisseur de l'interface est faible la discontinuité est gommée lorsque la raideur de cette interface est forte!
- La solution se situe peut être au niveau de la discontinuité entre structure mixte et semi-rigide. En effet, on passe d'une structure semi- rigide à une structure mixte lorsque l'épaisseur d'enrobés est comprise entre 0,4 et 0,5 de l'épaisseur de la structure.



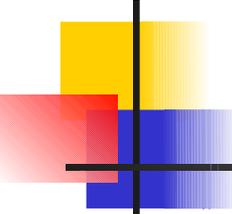
Perspectives

- Pour une ancienne chaussée semi-rigide devenue une pseudo mixte , on pourrait envisager en prenant en compte les modules des matériaux bitumineux calculés par ERASMUS de déterminer avec comme module de référence 2000MPa une épaisseur équivalente d'enrobé pour chaque carotte:
 - Ex: pour les carottes C1,C2,C3:
 - C1 50,4cm,
 - C2 21,4cm
 - C3 22cm



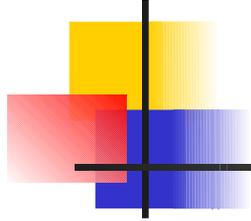
Perspectives

- **Première piste** transformation en *Hequivalente*
- $H_{equi} < 20\text{cm}$ structure de type semi rigide avec frottement 2
- $20\text{cm} < H_{equi} < 40$ semi- rigide frottement 3 avec $E = 40\text{Mpa}$
- $H_{equi} > 40\text{cm}$ structure mixte ou bitumineuse pas d'interface de frottement
- Une étude de sensibilité s'impose aux différents paramètres sachant qu'il y aura toujours des discontinuités



Perspectives

- **Deuxième piste:**
- Réguler la raideur du frottement en fonction de l'épaisseur d'enrobés susjacents .
- Ce type de fonctionnement a été introduit par JP LABAT dans une nouvelle version. Des ajustements seront nécessaires mais cela à le mérite de gommer les effets des discontinuités



Merci de votre attention