

Influence de l'état des matériaux d'une chaussée bitumineuse sur son évolution

Tentative d'approche d'une
qualité résiduelle avec
ERASMUS



Contexte : Durée de vie résiduelle

- Terminologie universelle sans pour autant être bien cadrée dans sa définition , sa valeur , son mode de calcul!!!
- Seule certitude les chaussées se dégradent sous l'action du trafic et de bien d'autres paramètres (climatologie par exemple)



Dégradations des chaussées et leur influence sur la « durée de vie »

Sous le trafic et les chargements:

- Fatigue des matériaux → fissuration et faïençage
- Cisaillement des roues → arrachements

Avec les conditions climatiques

- En été: haute température → orniérage sous trafic
- En hiver: basse température → fissuration thermique
Pluies, gel → désenrobage

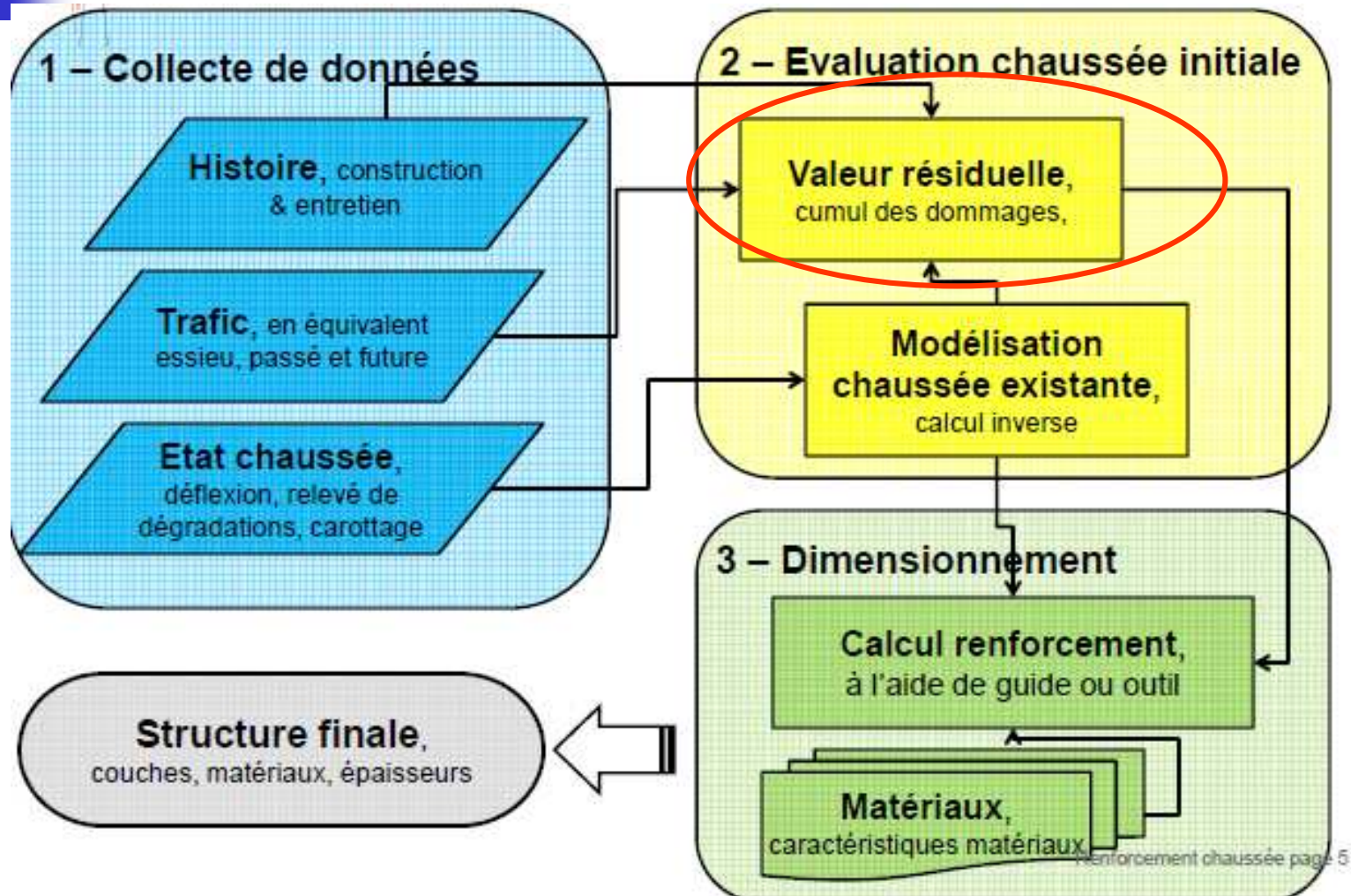
Au cours du temps

- Durcissement du bitume → plus fragile

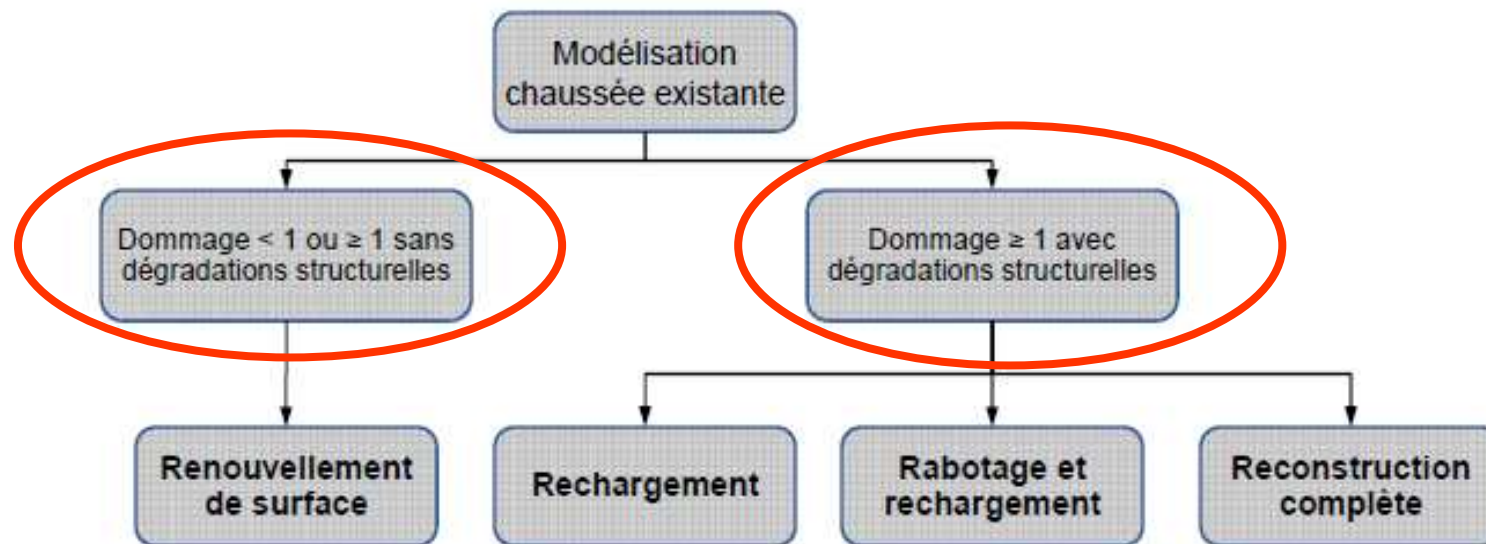
Selon le type de structure

- Assise hydraulique fissuration transversale

Etude de Renforcement (organigramme)



Renforcement: études

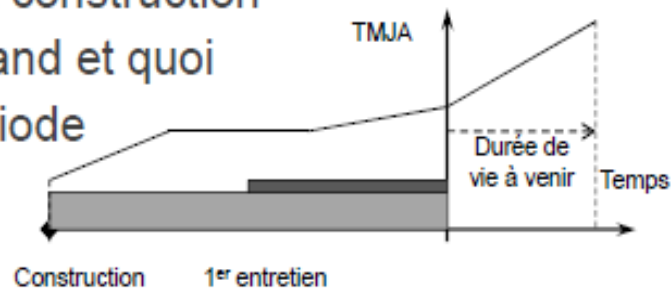


➤ Calculs de renforcement par modélisation
(analyse des contraintes et déformations)

Valeur résiduelle d'une chaussée

➤ Historique de la chaussée

- Type de structure et construction
- Entretien passé, quand et quoi
- Trafic passé par période
- Trafic à venir



➤ Valeur résiduelle

- Calcul du cumul des dommages $D = N_1 d_1 + N_2 d_2 + \dots$
- Contrôle de cohérence
état de chaussée vs dommage
- Valeur résiduelle $\rightarrow 1 - D$
- Détermine le patrimoine restant de la structure
- A comparer au trafic à venir

Renforcement chaussée page 7

Cycle de vie d'une chaussée

➤ La conception du cycle de vie chaussée

- Durée de service → période d'utilisation de la chaussées (id est durée de concession, ...)
- Durée de vie → période pour laquelle la chaussée est dimensionnée au départ




➤ Besoin d'intégrer l'entretien

- Entretien peut prolonger la durée de vie
- Besoin du maintien des conditions de surface

Une tendance vers une gestion de préservation du patrimoine

Renforcement chaussée page 9

Exemple d'étude réalisée sur autoroute (1)



Etude réalisée pour le compte d 'AREA
(Eiffage - ENTPE) pour optimiser la
planification de l'entretien d'une section
autoroutière:

- Calcul de l'endommagement,
- Prélèvements et mesures sur les matériaux (modules et fatigue). Constat: **les matériaux sont très peu dégradés** .
- Comparaison des modules mesurés à ceux obtenus par calcul inverse , pour approcher une durée de vie résiduelle!!!

Exemple d'étude réalisée sur autoroute (2)

- Structure : 6BB+10 GB+ 12 GB+10 GNT+ 70 (gnt). cdf
- Trafic: 2,6 .10⁶PL de 1991à 2012
- Etat visuel:Fis anarchique sur C.Roulement d'origine thermique (profondeur 2à 3cm)
- Mesures au curviamètre,
- Découpe de blocs d'enrobés pour mesure des modules
- Essais de plaques en fond de trou sur PF,
- Résultats : E (PF) 160MPa (120MPa à la construction)
- Module de la couche de base et de fondation: 14200MPa(15°C 10Hz)
- Fatigue: ϵ^6 124 μ def pour 80 μ def à la construction,

Exemple d'étude réalisée sur autoroute

La capacité résiduelle à supporter des cycles de trafic a été évaluée à partir des paramètres mécaniques standards des matériaux [SETRA 94] et des paramètres mesurés (sections 3.2 et 3.3) (Tableau 4). La méthode utilisée est la même que celle décrite dans la méthode française de dimensionnement des chaussées [SETRA 94].

Tableau 4. *Paramètres mécaniques des couches de chaussées utilisés pour l'évaluation de la capacité résiduelle à supporter des cycles de trafic.*

		Valeurs mesurées en laboratoire et in situ	Valeurs standards [SETRA 94]
Couche de fondation et couche de base	Module (15°C, 10 Hz)	14 200 MPa	9 300 MPa
	ϵ_6	124 $\mu\text{m/m}$	80 $\mu\text{m/m}$
	$-1/b$	6.5	5
	SN	0.24	0.25
Plate-forme	Module	160 MPa	120 MPa

Exemple d'étude réalisée sur autoroute (3)

Le trafic pouvant être supporté par la chaussée, modélisé à partir des paramètres mécaniques des matériaux prélevés, paraît être très élevé en comparaison de celui prévu lors du dimensionnement (Tableau 5).

Tableau 5. Comparaison des trafics admissibles par la chaussée

Trafic pouvant encore être supporté par la chaussée (fatigue et module mesurés en laboratoire)	$543 \cdot 10^6$ PL
Trafic prévu lors du dimensionnement initial de la chaussée (fatigue et module standards [SETRA 94])	$3.2 \cdot 10^6$ PL
Trafic ayant déjà circulé sur la chaussée	$2.6 \cdot 10^6$ PL

La capacité résiduelle de la chaussée est très élevée par rapport au trafic subi et au trafic calculé lors de l'étude de dimensionnement

A. Utilisation d'ERASMUS V5

chaussées neuves(durée de vie)



- Le système actuel ne permet pas d'introduire par le biais des carottages l'état des matériaux
- Le système fait évoluer la qualité des matériaux en fonction de leur vieillissement (bitume) et de leur endommagement;
- Suivant le risque choisi et ce pour la même structure on peut augmenter , l'endommagement ou le réduire.
- Cas de la structure suivante:
- 6BB+15GB+40 GNT sur Esol = 50MPa
- Trafic :750PL/j/sens

Influence du risque sur les dommages (modules cts)

Risque en %	Dommage à 30ans	Année à partir de laquelle D=1
50	0,9	35
40	1,14	26
25	1,65	18
15	2,3	13
10	2,87	11
5	3,98	7,5
2	5,75	5



Influence du risque sur les dommages avec évolution des modules

Risque en %	Dommage à 30ans	Modules en MPa	Année à partir de laquelle D=1
50	0,3	12900	
40	0,39	12200	
25	0,72	7800	
15	12,7	2000	25ans
10	27	2000	21 ans
5	58	2000	16 ans
2	110	2000	11 ans

Pour le risque affiché il y a échec si le risque est < à 15%

Utilisation d'ERASMUS V5

chaussées neuves



- Approche de la durée de vie résiduelle.
- Elle pourrait être égale à la différence entre la durée de vie prise en compte dans l'étude de dimensionnement d'origine et la durée de vie calculée pour la dite structure au moment de l'étude d'évaluation et ce en fonction des résultats des mesures réalisées pour cette étude.

Utilisation d'ERASMUS en Réhabilitation



■ ***Etude réalisée en 2014 sur A10 pour le compte de COFIROUTE***

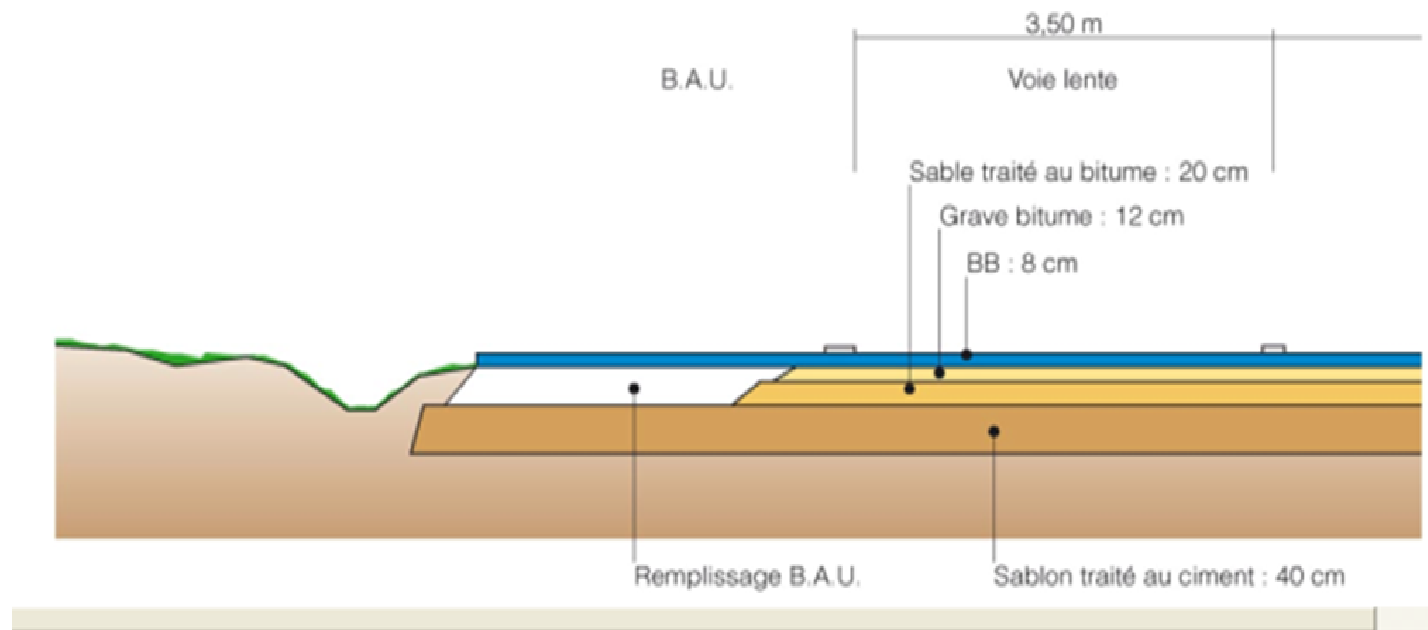
- Autoroute à 2 x 4voies
- Deux élargissements (trafic très élevé)
 - mise à 2 x 3voies en 1972
 - mise à 2 x 4 voies en 1994
- ***Problématique:***

Etudier la voie V2 pour *évaluer son endommagement et proposer une solution de réhabilitation -durée de calcul 20 à 30ans (horizon 2034)*
- *Pas de travaux programmés sur les voies V1, V3 et V4* impliquant de s'orienter vers une solution de substitution
fraisage et remplacement par des matériaux neufs

Contexte

■ Structure

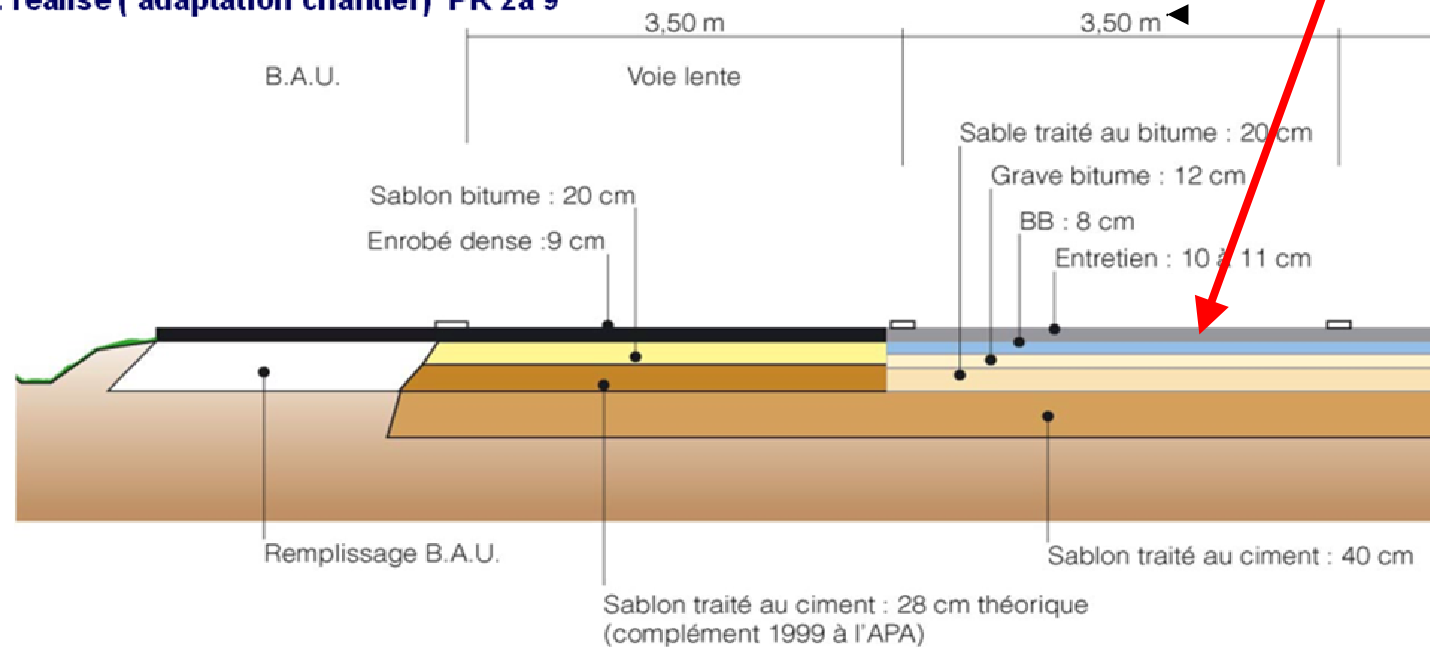
1. Structure d'origine 1972



Contexte

Structures théoriques 1994 (hors tapis général 1995)

5. réalisé (adaptation chantier) PR 2 à 9





Entretien réalisé



Construction V2 1972

Entretien

7BBSG 1978 PR 3 à 12

8BBSG 1981 PR 12 à 17

3BBTM 1989 à 1990 du PR 3 à 17

4BBDr 1995

↕ 5 Fraisage 2006 à 2007

3à4BBMa 2006 à 2007



Données du client

- Trafic :T0 +
- Cahier des structures+entretien
- Carottages effectués sur la voie V2
n= 26 Ø 100mm
description des carottes :méthode LPC
- *Données principales: caractéristiques visuelle des carottes effectuées*
- *Épaisseurs et nature des matériaux*
- *Etat du collage entre les couches*



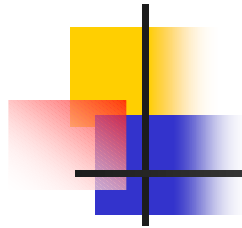
Problématique

- Le but est de répondre aux questions posées par le donneur d'ordres :
 - • Qu'advient-il de cette chaussée au terme de la durée envisagée ?
 - • Quelle réhabilitation à prévoir?
 - • Comment la voie réhabilitée évoluera-t-elle dans le temps ?
- L'approche de cette évolution temporelle de l'ancienne chaussée est effectuée dans le cadre d'un **scénario de simulation**.



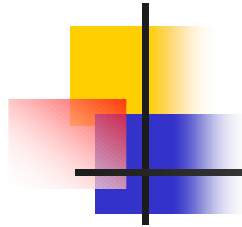
Démarche mécanique ERASMUS

- Le système doit calculer l'endommagement de la structure au terme de la durée de calcul envisagée 20 ou 30ans ??
- -)il fait **évoluer les modules des matériaux** mis en œuvre en solution de réhabilitation (effet combiné du vieillissement et des sollicitations du trafic) .
- -) il doit ensuite faire des **suspensions** sur l'évolution:
 - des matériaux constituant **l'ancienne chaussée** après application de la solution travaux.
 - du collage des couches entre elles.



Etablissement de scénarios

- Ils consistent :
 - à faire des hypothèses sur l'évolution des matériaux de la chaussée avant et après réhabilitation,
- à estimer de façon grossière la cinétique d'évolution,
- à prendre en compte les décollements des différentes couches ou de leurs sous-couches, et la date effective, du décollement.



Carottages et scénarios

- Données mesurées: épaisseur, nature
- Etat des carottes associé à un âge,
- Collages constatés pour un âge donné

- Suspensions temporelles sur l'état des carottes
- Suspensions sur les collages
- Suspensions sur l'évolution du collage des couches.



Introduction des données carottages

- *Carottages : collages et état des carottes*
- BB81/BB72 : 3 Décollé / 19
- BB72/GB72: 9 Décollé / 19
- GB72/SB 72: 19 Décollé / 19
- la rubrique carottage d'ERASMUS permet d'introduire : historique et état des interfaces en précisant s'il y a eu ou non progressivité du décollement et depuis quand?
- Etat visuel des carottes et ce depuis quand?
- Ce choix dépend des connaissances de l'utilisateur et s'inscrit donc dans le cadre d'une étude prospective.

Interprétation des carottages

- Correspondance: état de la carotte et raideur prise en compte dans le modèle

		Qualité de la carotte				
		Saine	Médiocre	Fissurée	Fragmentée	Désagrégée
Qualité des parois du trou de carottage	Lisses	E_{ref}	$0,7 \times E_{ref}$	2000 MPa	Non rencontré	Non rencontré
	Granulats arrachés	Non rencontré	$0,7 \times E_{ref}$	2000 MPa	1000 MPa	500 MPa

(Tableau 31) Tableau 31 - Modules des matériaux bitumineux pour la modélisation en fonction de la qualité de la carotte et des parois du trou de carottage

BBSG-0/14-CLASSE-1 - 9,0 cm - 41 ans

Epaisseur (cm) Décollement

Année de décollement estimée (XXXX) <= <=

Sous épaisseurs

0 < <= Sain Médiocre Fissuré Fracturé Désagrégé


GB-0/14-CLASSE-2 - 15,5 cm - 41 ans

Epaisseur (cm) Décollement

Année de décollement estimée (XXXX) <= <=

Sous épaisseurs

0 < <= Sain Médiocre Fissuré Fracturé Désagrégé



Les scénarios retenus (1^{ère} phase)

Décollements et fissuration sont introduits dans ces deux scénarios

Scénario EV1	Décollement	Fissuration	Fracturation	Désagrégation
BB (1972)	2018	2025		
GB (1972)	2016	2020		

Dans le scénario EV2, ils se fracturent en 2030 et 2034.

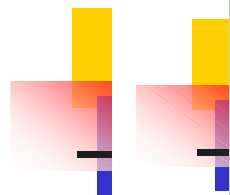
Scénario EV2	Décollement	Fissuration	Fracturation	Désagrégation
BB (1972)	2014	2020	2034	
GB (1972)	2014	2025	2030	

Les scénarios utilisés dans l'étude ont été conçus pour modéliser les prévisions d'évolution plausibles des matériaux



Analyse fonctionnelle globale de la chaussée

- ERASMUS permet de considérer dans le même raisonnement plusieurs scénarios alternatifs.
- Il s'appuie sur:
 - Le Trafic PL avec sa durée de calcul
- Le cahier des charges fixé
- le ou les scénarios d'évolution retenus pour le ou les matériaux de l'ancienne chaussée
- Les variantes (solutions) envisagées par l'utilisateur.



	C08 3+250 -> 3+250 bbdcm - 3.5 cm bbsg-0/14-C2 - 6.0 cm bbsg-0/14-C1 - 9.0 cm gb-0/14-C2 - 15.5 cm sablebitume2 - 20.0 cm SC cassé - 20.0 cm SC cassé - 20.0 cm	C09 4+250 -> 4+250 BDMA - 3.3 cm bbtm10 - 2.4 cm bbsg-0/14-C2 - 6.5 cm bbsg-0/14-C1 - 8.1 cm gb-0/14-C2 - 12.2 cm sablebitume2 - 20.0 cm SC cassé - 20.0 cm SC cassé - 20.0 cm	C10 6+500 -> 6+500 BDMA - 3.3 cm bbtm10 - 1.0 cm bbsg-0/14-C2 - 9.0 cm bbsg-0/14-C1 - 8.0 cm gb-0/14-C2 - 11.0 cm sablebitume2 - 20.0 cm SC cassé - 20.0 cm SC cassé - 20.0 cm	C14 7+250 -> 7+250 BDMA - 4.0 cm bbtm10 - 1.5 cm bbsg-0/14-C2 - 9.0 cm bbsg-0/14-C1 - 9.8 cm gb-0/14-C2 - 13.9 cm sablebitume2 - 20.0 cm SC cassé - 20.0 cm SC cassé - 20.0 cm	C15 8+490 -> 8+490 BDMA - 4.0 cm bbtm10 - 1.4 cm bbsg-0/14-C2 - 9.3 cm bbsg-0/14-C1 - 7.7 cm gb-0/14-C2 - 12.4 cm sablebitume2 - 20.0 cm SC cassé - 20.0 cm SC cassé - 20.0 cm	
Evolutions aucune rapide-decollement decollement						
2014 : BB discontinu couche mince (N) (4.0 cm) Liant d'accrochage 2014 : GB-0/14-CLASSE-4 (N) (8.0 cm) Liant d'accrochage 2014 : Fraisage (12.0 cm)	30 ans - gb-0/14-C4 D= 0.99	30 ans - gb-0/14-C4 D= 0.74	30 ans - gb-0/14-C4 D= 0.58	30 ans - gb-0/14-C4 D= 0.00	30 ans - gb-0/14-C4 D= 0.17	Ep
2014 : BB discontinu couche mince (N) (4.0 cm) Liant d'accrochage 2014 : GB-0/14-CLASSE-4 (N) (10.0 cm) Liant d'accrochage 2014 : Fraisage (14.0 cm)	Fatigue de gb-0/14-C4 Dommage= 2.48	Fatigue de gb-0/14-C4 Dommage= 1.22	30 ans - gb-0/14-C4 D= 0.92	30 ans - gb-0/14-C4 D= 0.00	30 ans - gb-0/14-C4 D= 0.20	3i
2014 : BB discontinu couche mince (N) (4.0 cm) Liant d'accrochage 2014 : GB-0/14-CLASSE-4 (N) (12.0 cm) Liant d'accrochage 2014 : Fraisage (16.0 cm)	Fraisage (n°3) Epaisseur non permise 16. cm	Fatigue de gb-0/14-C4 Dommage= 2.72	Fatigue de gb-0/14-C4 Dommage= 1.57	30 ans - gb-0/14-C4 D= 0.00	30 ans - gb-0/14-C4 D= 0.37	3i 7

2014 : BB discontinu couche mince (N) (4.0 cm) Liant d'accrochage 2014 : GB-0/14-CLASSE-4 (N) (8.0 cm) Liant d'accrochage 2014 : Fraisage (12.0 cm)	30 ans - gb-0/14-C4 D= 0.99	30 ans - gb-0/14-C4 D= 0.74	30 ans - gb-0/14-C4 D= 0.58	30 ans - gb-0/14-C4 D= 0.00	30 ans - gb-0/14-C4 D= 0.17
2014 : BB discontinu couche mince (N) (4.0 cm) Liant d'accrochage 2014 : GB-0/14-CLASSE-4 (N) (10.0 cm) Liant d'accrochage 2014 : Fraisage (14.0 cm)	Fatigue de gb-0/14-C4 Dommage= 2.48	Fatigue de gb-0/14-C4 Dommage= 1.22	30 ans - gb-0/14-C4 D= 0.92	30 ans - gb-0/14-C4 D= 0.00	30 ans - gb-0/14-C4 D= 0.20
2014 : BB discontinu couche mince (N) (4.0 cm) Liant d'accrochage 2014 : GB-0/14-CLASSE-4 (N) (12.0 cm) Liant d'accrochage 2014 : Fraisage (16.0 cm)	Fraisage (n°3) Epaisseur non permise 16. cm	Fatigue de gb-0/14-C4 Dommage= 2.72	Fatigue de gb-0/14-C4 Dommage= 1.57	30 ans - gb-0/14-C4 D= 0.00	30 ans - gb-0/14-C4 D= 0.37



Démarche de l'Analyse globale

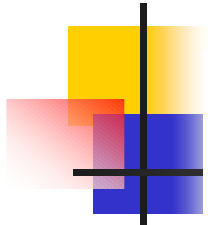
- Dans ce concept ***d'analyse globale*** :
- ERASMUS effectue l'ensemble des calculs nécessaires sur toute la section , en fait, il considère: chaque carotte comme une section témoin, et l'ensemble des scénarios d'évolution concurrents
- Par contre l'analyse globale ne détermine pas seule la ou les solutions satisfaisant à toutes les carottes.
- Il vérifie seulement si les variantes proposées sont conformes aux critères fixés.



Analyse fonctionnelle globale de la chaussée

- Dans le cadre de l'étude on a décliné en première simulation cinq scénarios se différenciant les uns des autres uniquement par l'année d'apparition de **la fissuration** et ce par sévérité croissante
- Dans un deuxième temps il a été introduit le stade suivant de dégradation **la fracturation**:
- Avec les nouveaux outils d'ERASMUS il a été examiné l'incidence de la date d'apparition de la fissuration sur l'endommagement
- Le système a calculé les dommages relatifs à chaque carotte pour la solution variante retenue :
- **12FR+8GB4+4BBM**.ou 13 FR+9GB4+4BBM

Scénarios et analyse globale (2^{ème} phase)



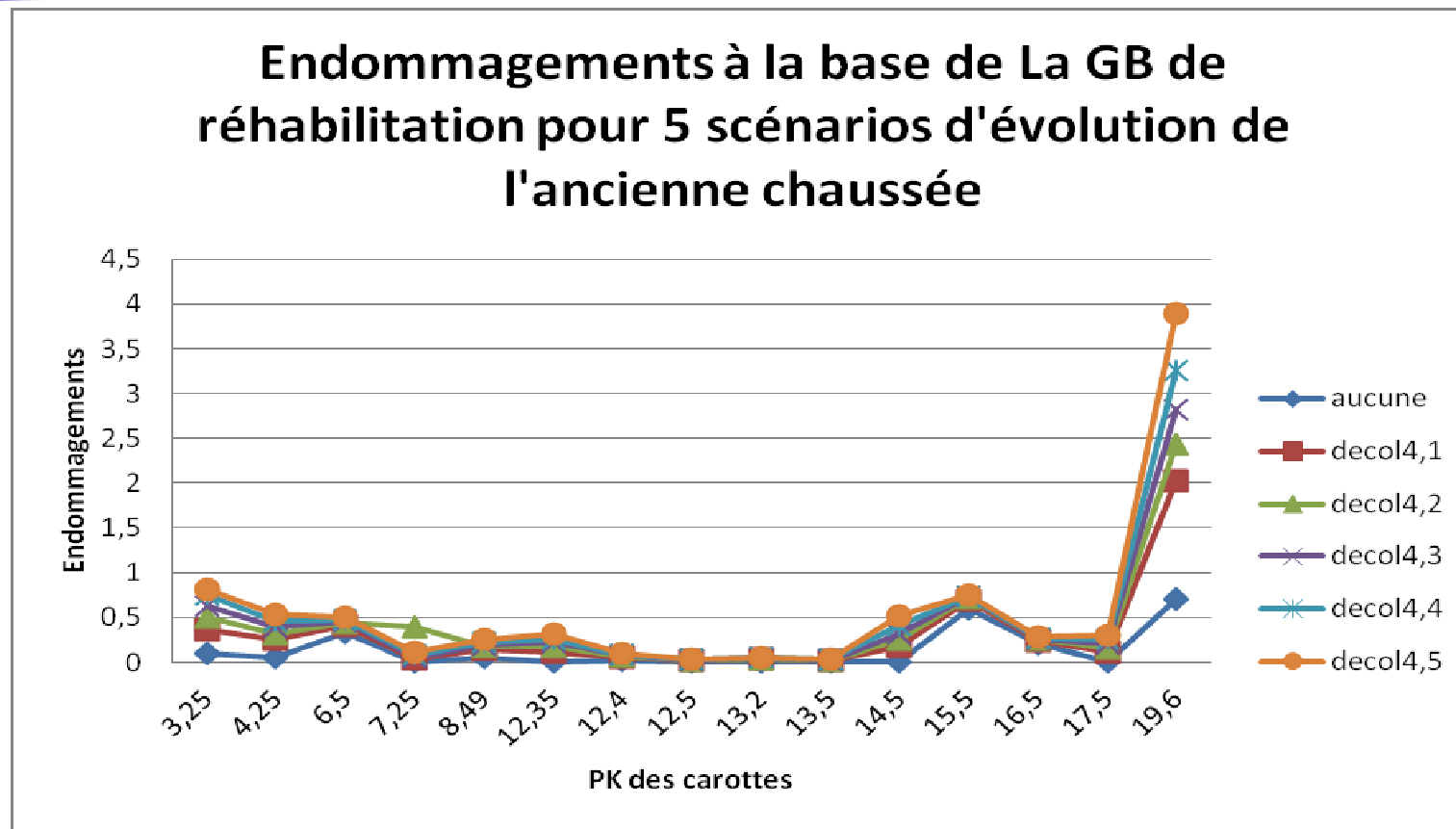
Fissuration-1	Décollement	Fissuration	Fracturation	Désagrégation
BB (1972)	2014	2034		
GB (1972)	2014	2034		
Fissuration-2	Décollement	Fissuration	Fracturation	Désagrégation
BB (1972)	2014	2030		
GB (1972)	2014	2030		
Fissuration-3	Décollement	Fissuration	Fracturation	Désagrégation
BB (1972)	2014	2026		
GB (1972)	2014	2026		
Fissuration-4	Décollement	Fissuration	Fracturation	Désagrégation
BB (1972)	2014	2022		
GB (1972)	2014	2022		
Fissuration-5	Décollement	Fissuration	Fracturation	Désagrégation
BB (1972)	2014	2018		
GB (1972)	2014	2018		

Dommages pour chaque carotte (option fissuration)

Position\Evolution	Aucune	Fissuration-1	Fissuration-2	Fissuration-3	Fissuration-4
C08(3,25)	0,15	0,46	0,66	0,84	0,96
C09(4,25)	0,10	0,33	0,43	0,54	0,65
C10(6,5)	0,41	0,51	0,55	0,58	0,62
C14(7,25)	0,00	0,05	0,07	0,09	0,12
C15(8,49)	0,05	0,16	0,19	0,23	0,26
C19(9,5)	23,80	108	118	129	139
C23(10,5)	0,00	0,28	0,35	0,43	0,52
C24(11,5)	0,00	1,18	1,3	1,58	2,02
C25(12,35)	0,00	0,14	0,21	0,27	0,32
C26(12,4)	0,04	0,1	0,12	0,15	0,17
C27(12,5)	0,00	0,03	0,04	0,04	0,05
C28(13,2)	0,02	0,06	0,07	0,08	0,1
C29(13,5)	0,00	0,03	0,04	0,05	0,05
C30(14)	0,00	0,24	0,29	0,35	0,42
C01(14,5)	0,00	0,34	0,45	0,57	0,71
C02(15,5)	0,73	0,8	0,83	0,85	0,86
C03(16,5)	0,39	0,45	0,47	0,49	0,51
C04(17,5)	0,00	0,13	0,2	0,25	0,3
C06(19,6)	0,92	4,68	5,92	6,96	8,04

Tableau des dommages de la GB de réhabilitation – Scénarios de Fissuration
Solution 13FR+9GB4+4BBM - Plateforme=50MPa
Toutes les carottes

Représentation graphique des dommages sur le P.Long

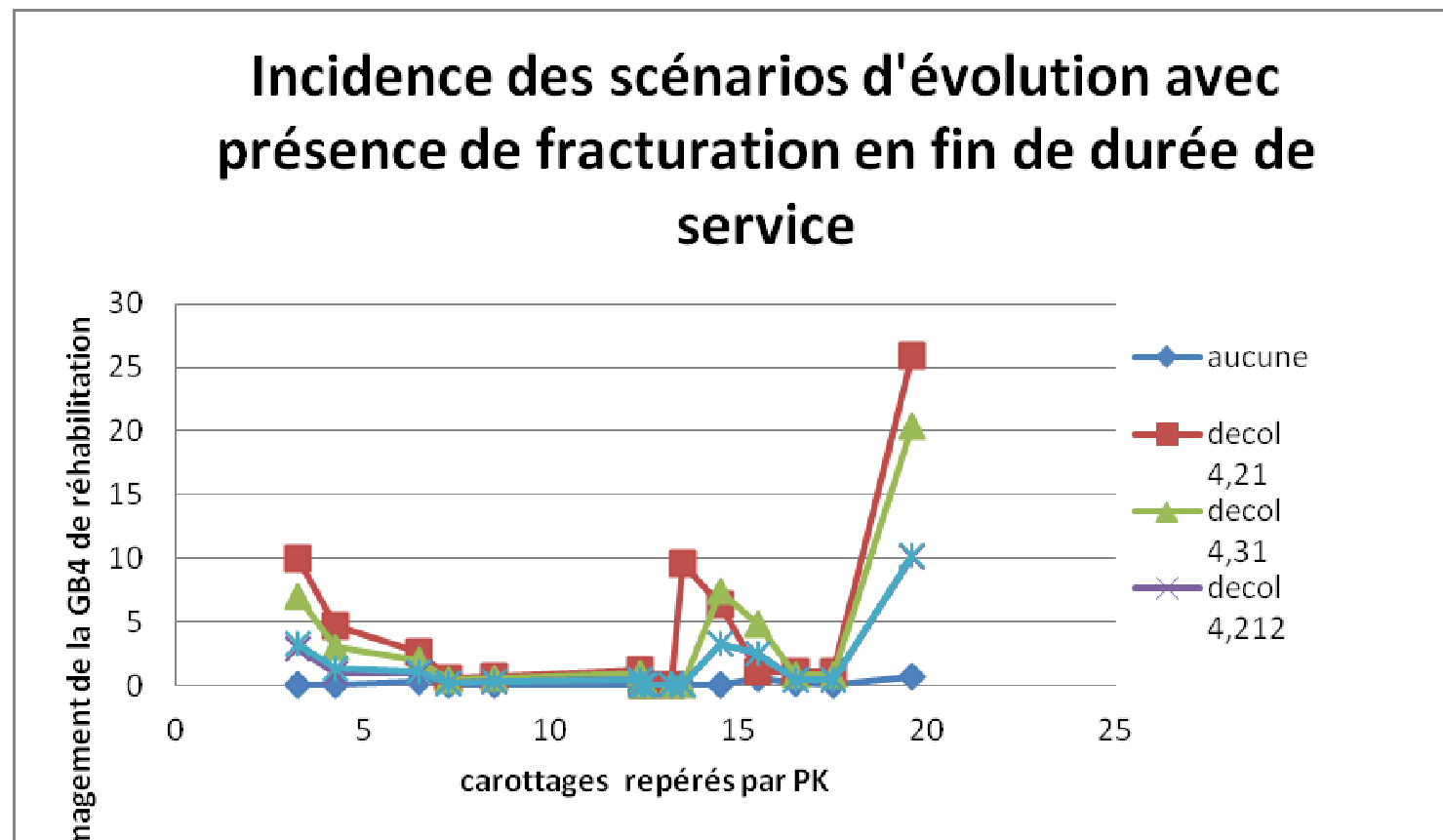


Dommages pour chaque carotte (option fracturation)

Position\Evolution	Aucune	Fracturation-1	Fracturation-2	Fracturation-3
C08(3,25)	0,10	2,82	7,00	10,00
C09(4,25)	0,06	1,01	3,06	4,67
C10(6,5)	0,34	0,98	1,99	2,67
C14(7,25)	0,00	0,14	0,40	0,61
C15(8,49)	0,05	0,30	0,57	0,74
C19(9,5)	9,20	44,40	51,80	59,60
C23(10,5)	53,10	248,00	292,00	334,00
C24(11,5)	46,10			
C25(12,35)	0,00	0,41	0,89	1,22
C26(12,4)	0,02	0,11	0,11	0,12
C27(12,5)	0,00	0,03	0,05	0,05
C28(13,2)	0,01	0,06	0,08	0,09
C29(13,5)	0,00	0,03	0,05	0,05
C30(14)	4,58	27,50	32,20	36,80
C01(14,5)	0,00	3,22	7,33	9,61
C02(15,5)	0,59	2,45	4,85	6,38
C03(16,5)	0,21	0,48	0,88	1,05
C04(17,5)	0,00	0,39	0,79	1,04
C06(19,6)	0,70	10,00	20,30	25,90

*Dommages de la GB de réhabilitation avec 3 scénarios de fracturation
Solution 12FR+8GB4+4BBM - Plateforme=50MPa*

Représentation graphique des dommages (fracturation) sur le P.Long





Analyse globale (résultats)

- Mise en évidence des zones sensibles:
 - PK 3+25à 6+500 – PK14+500à15+500
 - PK 19+600
- Solution variante ne convient pas si $D > 1$ (zones rouges)
- Possibilité de vérifier l'incidence des variables:
 - Raideur du sol support
 - Epaisseur du renforcement



Analyse globale multi solutions

- Les endommagements calculés par Erasmus en appliquant deux scénarios spécifiques aux solutions de renforcements envisagées:
 - - le plus optimiste: Fissuration-1
 - - le plus pessimiste: Fracturation-3
- figurent dans le tableau ci-apres

Analyse globale (fissuration – fracturation) pour différentes variables

Evolution	Carottage	C06(19,6)	C10(20,5)	C11(21,6)	C12(22,5)	C13(23)	C17(23,75)	C18(23,76)	C19(23,77)
Aucune	FR12+8GB4+4BBM	0,73	0,45	0,37	332,00	0,00	0,01	0,01	1,06
Aucune	FR13+9GB4+4BBM	1,13	0,52	0,61	338,00	0,00	0,01	0,03	4,23
Aucune	FR14+10GB4+4BBM	4,11	0,62	0,80	349,00	0,00	0,02	0,07	22,90
Aucune	FR13+9EME2+4BBM	1,62	0,38	0,52	125,00	0,00	0,01	0,04	3,39
Fissuration-1	FR12+8GB4+4BBM	2,81	0,56	1,03	332,00	0,19		0,36	6,84
Fissuration-1	FR13+9GB4+4BBM	6,59	0,69	1,80	338,00	0,35	0,25	0,45	16,30
Fissuration-1	FR14+10GB4+4BBM	18,30	0,84	3,91	349,00	0,61	0,28	0,57	58,20
Fissuration-1	FR13+9EME2+4BBM	6,79	0,48	1,88	125,00	0,53	0,20	0,34	12,20
Fracturation-3	FR12+8GB4+4BBM	28,40	5,97	13,50	332,00	7,06		5,50	50,00
Fracturation-3	FR13+9GB4+4BBM	46,00	7,50	20,70	338,00	9,05	3,84	7,00	87,00
Fracturation-3	FR14+10GB4+4BBM	74,10	9,62	30,40	349,00	11,50	4,47	8,93	153,00
Fracturation-3	FR13+9EME2+4BBM	28,00	4,18	12,60	125,00	6,51	2,04	4,25	39,00



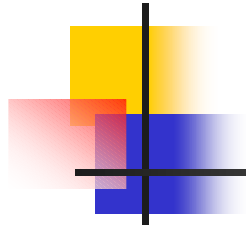
Conclusions Analyse globale

- Cette analyse eu égard aux données disponibles s'inscrit dans le cadre d'une étude prospective .
- Elle s'appuie sur le descriptif des carottes(cf guide technique pour le renforcement des chaussées)
- La prédiction du comportement de la section nécessite l'élaboration de scénarios d'évolution des matériaux (collage des couches et état)
- Pour faire de la prédiction l'introduction d'une dimension temporelle est de loin la partie la plus délicate.



Conclusions Analyse globale

- ***Plusieurs solutions travaux ont été étudiées:***
- Fraisage 12cm+8cm de GB4 +4BBM
- « « « « 13cm+9cm de GB4+ 4BBM
- « « « « 14cm+10cm de GB4+4BBM
- « « « « 13cm+9cm d'EME2+4BBM
- L'examen des courbes d'endommagement montre que l'épaisseur de matériau d'apport n'est pas toujours un gage d'efficacité.
- l'option fracturation de l'enrobé introduite dans les scénarios est très pénalisante et conduit à notre avis à des dommages irréalistes de la structure.
- Solution retenue:
 - **Fraisage 12cm+8cm de GB4 +4BBM**



Merci pour votre attention