

Restitution des résultats de l'ORSI « DEDIR »
du Dimensionnement à l'Entretien Durable des Infrastructures Routières
IFSTTAR Nantes - 17 mai 2018

**Approches pour l'évaluation de la
durée de vie des chaussées**

Pierre Hornych
IFSTTAR

Plan de la présentation

- **Introduction – problématique**
- **Méthode de calcul de durée de vie basée sur la démarche de renforcements de chaussées**
- **Exemples d'application de la méthode**
 - Exemples de Chaussées bitumineuses
 - Bilan et limites de la méthode
- **Pistes d'amélioration**
 - Amélioration des essais d'auscultation
 - Etude du vieillissement des matériaux
 - Modélisation des mécanismes de dégradation

Introduction - Problématique

Pour les chaussées en service, besoin d'une méthode pour évaluer la durée de vie résiduelle

Approche existante :

- Calcul de l'endommagement actuel de la chaussée, en utilisant la démarche de dimensionnement - prise en compte de l'historique de la chaussée (dégradations, renforcements) et du trafic passé
- Calcul de la durée de vie résiduelle en utilisant la même approche

Limites de cette approche :

- Connaissance des caractéristiques initiales de la chaussée et des matériaux et de leur évolution (vieillesse, endommagement)
- Calcul basé uniquement sur les critères de dimensionnement classiques : fatigue de l'assise et orniérage
- Complexité des chaussées anciennes (plusieurs renforcements, présence de défauts)

Démarche de calcul de durée de vie des chaussées

Démarche basée sur la méthode du guide de renforcement des chaussées, en 3 étapes :

- **Diagnostic de l'état actuel de la chaussée**, basé sur les essais d'auscultation
- **Calcul de l'endommagement actuel** de la chaussée, en utilisant la démarche de dimensionnement
- **Calcul de la durée de vie résiduelle**, en utilisant la même approche de calcul

Diagnostic de l'état actuel de la chaussée

- Découpage en zones homogènes de dégradations / déflexion
- Calage des modules du sol et des mat. non traités sur les déflexions
- Calage des modules des couches traitées sur les rayons de courbure (avec correction en fréquence et température des modules)
- Analyse des carottages : état des interfaces , matériaux fissurés ou désagrégés.

→ Modèle de l'état actuel de la structure

Limites du diagnostic :

- Incertitudes sur l'état des interfaces, sur les dégradations internes
- Difficulté pour caler les modules de plusieurs couches sur la mesure de R_c - Amélioration possible : mesure du bassin de déflexion complet
- Limites de précision des mesures de déflexion :
 $d_c > 10 \text{ mm/100}$, $R_c < 2500 \text{ m}$

Calcul de l'endommagement actuel de la chaussée

- Calcul de l'endommagement théorique en prenant en compte le trafic réel et les différentes phases d'entretien, avec un risque de 50 %
- Prise en compte des informations des carottages : état des interfaces matériaux fissurés ou désagrégés.
- Caractéristiques des matériaux prises en compte :
 - Matériaux sains : modules et paramètres de fatigue initiaux de dimensionnement
 - Matériaux fissurés ou désagrégés : modules forfaitaires réduits

Principales Limitations

La date d'apparition des désordres (décollement, fissuration) est mal connue

Prise en compte des décollements : extension – niveau de gravité

Prise en compte des matériaux dégradés ou fissurés (non homogènes)

Prise en compte du vieillissement des matériaux bitumineux

Calcul de la durée de vie résiduelle

Calcul avec le modèle de structure issu du diagnostic:

- Modules de sol et de GNT calés sur la déflexion
- Modules des couches traitées calés sur les rayons de courbure
- Etat des matériaux traités, des interfaces et épaisseurs des couches basés sur les carottages
- Paramètres de fatigue des matériaux : valeurs initiales de dimensionnement
- Hypothèse forfaitaire de croissance du trafic

Principales limitations

- Prise en compte des dégradations
- Pas d'évolution des caractéristiques de la structure (pas d'apparition de décollement ou de fissuration, pas de vieillissement)
- calcul basé uniquement sur les critères de dimensionnement classiques : fatigue de l'assise et orniérage

Exemples d'application de la méthode de calcul de la durée de vie aux chaussées bitumineuses

Structures de chaussée

Structure 1 – en bon état

BBSG	6 cm (renforcement)
BBSG	6 cm (renforcement)
BBSG	7 cm
GB2	11 cm
GB2	12 cm
GNT	35 cm
Sol PF3	

Age 31 ans

Traffic cumulé :11,1 M. PL

Structure 2 - faiblement dégradée

BBTM	2,5 cm (entretien)
BBSG	7 cm (renforcement)
BBSG	6 cm
GB3	12 cm
GNT	26 cm
Sol PF3	

Age 30 ans

Traffic cumulé :10,2 M. PL

Diagnostic des structures

Structure 1 : Aucune fissuration – pas de décollement identifié

2 zones :

Zone	Déflexion dc (mm/100)	Rayon de courbure Rc (m)
1	23,4	379
2	14,5	978

2 zones de
déflexion différente

Structure 2 : Faible fissuration de surface (< 5 % fissures longitudinales)

Décollement des interfaces BBSG / GB3 (30 %) et BBSG / BBSG (56 %)

2 zones :

Zone	Déflexion dc (mm/100)	Rayon de courbure Rc (m)
1	32,3	614
2	27,1	826

Structure 1 – diagnostic - calage des modules

Modules moyens (15 °C, 10 Hz) MPa

Structure 1

		Zone 1	Zone 2
BBSG	6 cm	3600 ?	8000
BBSG	6 cm	3600 ?	8600
BBSG	7 cm	3600 ?	8600
GB2	11 cm	5600 ?	14000
GB2	12 cm	5600 ?	14000
GNT	35 cm	Non linéaire	Non linéaire
Sol (PF3)		66	130

Difficulté de calage des modules sur la zone 1 à partir des déflexions et rayons de courbure – besoin de mesures de bassin de déflexion complets (FWD, curviamètre)
+ de détection des décollements en continu

Structure 1 - Calcul de l'endommagement actuel

Calcul en 3 phases – pour la zone 2 uniquement

- Phase 1 : structure initiale
- Phase 2 : ajout de 6 cm de BBSG3 (entretien de 1989)
- Phase 3 : ajout de 6 cm de BBSG (entretien de 2002)

Dommages calculés :

		Risque		
		50 %	15 %	5 %
Phase 1	Dommage GB3	0,01	0,02	0,04
Phase 2	Dommage GB3	0,02	0,04	0,08
Phase 3	Dommage GB3	0,02	0,05	0,09

Dommage calculé très faible, expliqué par les entretiens préventifs de la structure et en accord avec l'absence de dégradations

Structure 1 - Durée de vie résiduelle et Bilan

Durée de vie résiduelle :

Calcul avec un risque de 5 % → durée de vie = 308 million de PL

Le calcul en fatigue conduit à une durée de vie quasi-infinie – s'explique par une structure très épaisse (42 cm de matériaux bitumineux).

Conclusions :

Diagnostic : difficultés pour la zone 1 – besoin de méthodes plus précises de calcul inverse des propriétés des couches (FWD, curviamètre) + confirmation des modules des matériaux par prélèvements

- besoin de méthodes de détection en continu des décollements

Calcul de durée de vie : la fatigue de l'assise n'est pas le mécanisme de dégradation prépondérant – besoin de prendre en compte d'autres mécanismes

- vieillissement des matériaux, effets climatiques?
- dégradation des interfaces et des couches de roulement

Intérêt de compléter l'analyse mécanique par des **approches statistiques**, basées sur des lois d'évolution des dégradations

Structure 2 – Diagnostic – calages des modules

Structure 2		Modules moyens (15 °C, 10 Hz) MPa	
		Zone 1	Zone 2
décollé	BBTM 2,5 cm	7300	7300
	BBSG 6 cm	7300	7300
	BBSG 7 cm	7300 décollé	7300 Semi-collé
	GB3 12 cm	12600	12000
	GNT 35 cm	Non linéaire	Non linéaire
	Sol (PF3)	115	100

Calage plus satisfaisant, mais difficulté pour prendre en compte de façon réaliste les décollements (56 % de décollements au niveau de l'interface BBSG / BBSG d'après les carottages)

Structure 2 - Calcul de l'endommagement actuel

Calcul en 4 phases – exemple pour la zone 1:

- Phase 1 : structure initiale (jusqu'en 1989)
- Phase 2 : ajout d'une couche de 7 cm de BBSG (en 1990)
- Phase 3 : ajout d'une couche de BBTM (en 2000)
- Phase 4 : décollement de l'interface BBSG / BBSG en 2000 ou 2005 (2 cas)

Dommages calculés		Décollement en 2000	Décollement en 2005
		Risque 50 %	Risque 50 %
Phase 1	Dommage GB3	0,423	0,423
Phase 2	Dommage GB3	0,553	0,553
Phase 3	Dommage GB3	1,33	0,613
	Dommage BBSG	4,5	
Phase 4	Dommage GB3		1,043
	Dommage BBSG		2,5

- L'hypothèse d'interface décollée conduit à un endommagement rapide de l'assise et encore plus de la couche de BBSG au dessus du décollement
- Difficulté pour définir une date d'apparition du décollement.

Structure 2 - Durée de vie résiduelle et Bilan

Durée de vie résiduelle :

Le calcul avec une interface décollé conduit à un dommage actuel > 1 ce qui est sans doute trop défavorable

Conclusions :

Diagnostic : Besoin de méthodes plus précises de calcul inverse des propriétés des couches (FWD, curviamètre) et de détection des défauts internes (décollement, fissures)

- besoin de méthodes probabilistes pour prendre en compte la variabilité des défauts dans une structure endommagée

Calcul de durée de vie : le décollement des couches est le mécanisme de dégradation prépondérant :

- besoin d'essais permettant d'évaluer l'état des interfaces
- besoin d'une modélisation plus réaliste des interfaces

Intérêt d'**approches statistiques**, basées sur des lois d'évolution des dégradations pour compléter l'analyse

Pistes pour l'amélioration du calcul de la durée de vie des chaussées

Travaux menés dans DEDIR

Amélioration des essais d'auscultation

Mesures de Déflexion / rayon de courbure :

- Amélioration du traitement statistique des mesures – analyse de leur variabilité spatiale et temporelle
- Règles de correction en température et en fréquence
- Analyse des bassins de déflexion complets - Calcul inverse des modules des couches de chaussées (FWD ou curviamètre)

Curviamètre : nécessite une correction des mesures

→ présentation de Vinciane Le Boursicaud

Détection des décollements :

- Utilisation de nouveaux essais non destructifs :
Radar, propagation d'ondes mécaniques

Diagnostic : développement d'un outil logiciel d'aide au diagnostic

Pistes d'amélioration pour le calcul de la durée de vie résiduelle

Etude du vieillissement des matériaux bitumineux

- Définition d'indicateurs de vieillissement
- Lois d'évolution des modules et paramètres de fatigue en fonction du vieillissement

→ Présentation de Paul Marsac

Etude et modélisation des mécanismes de fissuration

- Modélisation de structures avec des défauts fixes : redistribution des contraintes/déformations et impact sur le comportement global ?
- Propagation et évolution de l'endommagement/ de la fissuration

→ Présentation d'Olivier Chupin

Amélioration des lois statistiques d'évolution des dégradations

→ Présentation de Pierre Hankach

Conclusion et perspectives

Avancées réalisées dans le cadre de DEDIR sur:

- Les méthodes d'auscultation et de diagnostic
- Les modèles de prévision des dégradations (mécaniques ou statistiques)

Travail à poursuivre :

- Intégration de ces résultats dans une méthode de calcul de durée de vie, et dans un outil logiciel (évolution d'ALIZE ?)

Poursuite de ces actions dans le Projet National DVDC (www.dvdc.fr)

Thème 1 : Mécanismes de dégradation des chaussées + projet ANR MOVEDVDC

Thème 2 : Caractérisation de l'état du réseau

Thème 3 : Evaluation de la durée de vie résiduelle

Thème 4 : Valorisation

Merci de votre attention

Pierre Hornych

IFSTTAR – département MAST

Allée des Ponts et Chaussées, CS5004, 44344 Bouguenais cedex

Tel : 02 40 84 58 09

Mail : pierre.hornych@ifsttar.fr