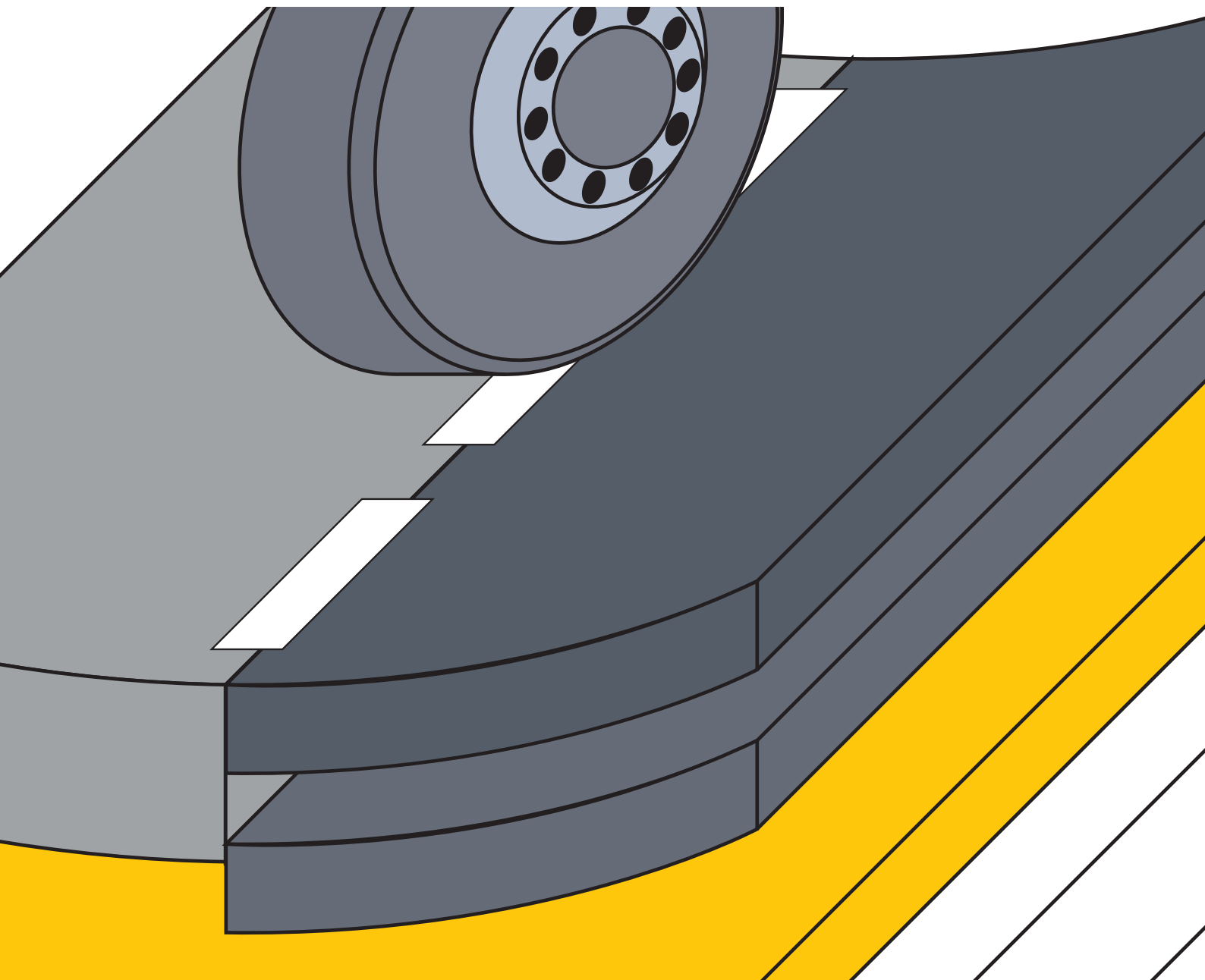




Centre de recherches routières
Ensemble pour des routes durables



Instruments pour les gestionnaires routiers

7 | Qualidim

Calcul de la durée de vie résiduelle des chaussées

Le Centre de recherches routières (CRR) est un institut de recherche impartial fondé en 1952. Il exerce son activité au bénéfice de tous les partenaires du secteur routier belge. Le développement durable par l'innovation est le fil conducteur de toutes les activités du CRR. Le CRR partage ses connaissances avec les professionnels du secteur routier entre autres par le biais de ses publications (codes de bonne pratique, synthèses, comptes rendus de recherche, méthodes de mesure, fiches d'information, Newsletter CRR, Dossiers, rapports d'activités). Nos publications sont largement diffusées en Belgique et à l'étranger auprès de centres de recherche scientifique, d'universités, d'institutions publiques et d'instituts internationaux. Plus d'informations sur nos publications et activités: www.crr.be

Avis au lecteur

Bien que cette publication ait été rédigée avec le plus grand soin possible, des imperfections ne sont pas exclues. Ni le CRR, ni ceux qui y ont collaboré ne peuvent être tenus pour responsables des informations fournies qui le sont à titre purement documentaire et non contractuel. Cette publication consiste en une série de fiches, fournissant aux gestionnaires routiers des informations détaillées sur différents outils et méthodes de diagnostic pouvant mener à des mesures d'entretien et/ou de renforcement rationnelles et objectives.

Instruments pour les gestionnaires routiers (pour une approche globale, objective et rationnelle de la gestion des voiries). Fiche 7 Qualidim – Calcul de la durée de vie résiduelle des chaussées / Centre de recherches routières. Bruxelles : CRR, 2023, 10 p. (Synthèse ; SF 48-Fiche 7 – rév. 2).

Dépôt légal: D/2019/0690/3

© CRR – Tous droits réservés.

Editeur responsable: Annick De Swaef, Boulevard de la Woluwe 42, 1200 Bruxelles.

Fiche 7 – **Qualidim** Calcul de la durée de vie résiduelle des chaussées

Centre de recherches routières

Etablissement reconnu par application de l'arrêté-loi du 30 janvier 1947

Bruxelles

2023



✓ OUTIL

✓ AU NIVEAU DU PROJET

AU NIVEAU DU RÉSEAU

SURFACE DE LA CHAUSSÉE

✓ STRUCTURE DE LA CHAUSSÉE

✓ DO-IT-YOURSELF

Contact

Carl Van Geem: +32 10 23 65 22;
c.vangeem@brrc.be

Appareil de mesures de déflexion

Curviamètre
 Falling Weight

Falling Weight 100kN

Rayon (mm): 150,00
 Pression (N/mm²): 1,388
 Coord. x (mm): 0
 Coord. y (mm): 0

Positions et déflexions mesurées

Nombre de capteurs: 9

Modules élastiques de surface (N/mm²):

Capteurs	x(mm)	y(mm)	Déflexions(μm)	Calcul
1	0	0	144	2169
2	300	0	126	620
3	600	0	107	365
4	900	0	91	286
5	1200	0	77	253
6	1500	0	68	230
7	1800	0	60	217
8	2100	0	53	203
9	2400	0	46,9	191

Modules élastiques estimés (N/mm²)

E1	E2	E3	E4(*)	(*)Modules fixés
33903	685	20934	240	

Résultats de déflexions

Différence moyenne (μm): 1,38

Nombre d'itérations: 17

Critère: 1 = Convergence obtenue
2 = 2 modules élastiques égaux
3 = Divergence
4 = Modules estimés inappropriés

Critère: 1

Capteurs	Déflexions calculées(μm)	Différences(μm)
1	144,4	-0,35
2	124,7	1,29
3	106,6	0,44
4	91,7	-0,71
5	79,3	-2,32
6	69,0	-0,96
7	60,3	-0,29
8	53,0	1,98
9	46,9	4,11

7 | Qualidim
Calcul de la durée de vie résiduelle des chaussées

Objectif

Qualidim (auparavant appelé DimMET) a été développé au départ comme logiciel de dimensionnement, mais il peut aussi être utilisé pour évaluer la durée de vie résiduelle des chaussées. La méthodologie repose sur des modèles théoriques de chaussées, le calcul inverse du module d'élasticité des matériaux utilisés dans la structure, des mesures de déflexion au FWD (*Falling Weight Deflectometer* – déflectomètre à masse tombante) par exemple et des données du trafic. Lors de la planification et de l'établissement du budget des travaux, les gestionnaires routiers peuvent se reposer sur lui pour évaluer si une intervention au-delà de la couche de roulement est nécessaire ou non. Intervenir à temps permet d'éviter les dégradations précoces de la (sous-)fondation.

Principe de fonctionnement – Méthodologie

La durée de vie résiduelle d'une route peut être calculée à l'aide des données reprises ci-après.

- *Modèle de la structure de la chaussée:* au moyen de modèles théoriques de la structure de la chaussée, il est possible de calculer la déflexion attendue d'un revêtement lors du passage d'un véhicule lourd. Qualidim utilise un modèle fréquent qui repose sur les caractéristiques d'élasticité des matériaux utilisés dans la structure. Une route est constituée de différentes couches, souvent de matériaux et d'épaisseurs différents. Chaque matériau possède un module d'élasticité qui lui est propre et qui peut varier selon la température ambiante et le vieillissement du matériau. Pour réaliser le calcul inverse du module d'élasticité, il faut introduire les données suivantes:

- nombre de couches;
- épaisseurs des couches;
- «coefficient de Poisson» de chaque matériau utilisé.

La qualité de l'adhérence entre les couches peut aussi être introduite.

- *Mesures de déflexion:* lors du passage d'un véhicule lourd, le revêtement fléchit légèrement. Cette déflexion n'est que de quelques centièmes ou millièmes de mm et est invisible à l'œil nu. Lorsque la charge est levée, le revêtement reprend sa forme initiale (déformation élastique). Cette déformation temporaire peut être mesurée à l'aide d'un appareil spécialement conçu à cet effet, tel que le FWD ou le curviamètre. Les valeurs de

déflexion mesurées doivent être introduites pour le calcul inverse du module d'élasticité.

- *Données du trafic:* si le nombre attendu de véhicules lourds est connu, il peut également être introduit.

Étapes à suivre

1. Calcul inverse des modules d'élasticité

Le module d'élasticité des matériaux constituant la structure est calculé en comparant la déflexion théorique calculée et la déflexion mesurée. Il s'agit d'un processus itératif, où les valeurs possibles des modules d'élasticité sont introduites et modifiées quelque peu de manière automatique par le logiciel pour que la déflexion calculée corresponde mieux à la déflexion mesurée. Ce processus est répété jusqu'à atteindre un «minimum local» de la surface tri- ou quadridimensionnelle des combinaisons possibles de modules d'élasticité pour les différentes couches.

Ce processus peut aboutir à trois résultats:

- le calcul itératif ne génère aucune solution. Le «minimum local» le plus proche est probablement trop éloigné des valeurs introduites pour les modules d'élasticité. Le modèle ne décrit pas correctement la réalité (une épaisseur erronée a par exemple été introduite pour une des couches);
- le calcul itératif génère une solution qui n'est pas physiquement réaliste. Les modules d'élasticité obtenus constituent

un «minimum local» qui, d'un point de vue mathématique, offre une bonne correspondance entre la déflexion calculée et la déflexion mesurée, mais ils sont soit très petits soit très grands. L'utilisateur du logiciel estime lui-même si les modules calculés sont physiquement réalistes. Si ce n'est pas le cas, un nouveau calcul, avec de nouvelles valeurs, doit alors être effectué;

- le calcul itératif génère une solution physiquement acceptable. Il indique si une couche est en bon ou mauvais état. Le module d'élasticité d'un nouveau matériau et son évolution dans le temps sont bien entendu connus. Les modules d'élasticité obtenus peuvent maintenant être utilisés pour le calcul de la durée de vie résiduelle.

2. Calcul de la durée de vie résiduelle

Les modules d'élasticité obtenus par calcul inverse ainsi que les données du trafic permettent d'estimer la durée de vie résiduelle. Le dimensionnement de la chaussée dans son état actuel est simulé pour le trafic introduit. Le logiciel calcule la quantité de trafic que la route pourra (encore) supporter jusqu'à la fin de sa durée de vie. En comparant cette quantité de trafic avec le trafic réel, et en tenant éventuellement compte de l'accroissement du trafic, on obtient la durée de vie résiduelle de la route.

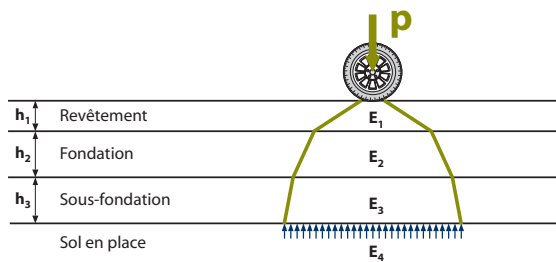


Figure 1 – Répartition des charges dans une chaussée
(© "aide" de Qualidim)

Remarque	Module (N/mm²)	E connu, cochez	Degré d'anisotropie (E _v /E _h)	Coefficient de Poisson	Epaisseur (mm)	Adhérence Totale = 1, Gliss. parfait = 0
Coulche d'usure	15000	<input type="checkbox"/>	1,00	0,35	238	0,5
Sous-Couche 1	4000	<input type="checkbox"/>	1,00	0,30	195	0,1
Sous-Couche 2	450	<input checked="" type="checkbox"/>	1,00	0,40		

Appareil de mesures de déflexion			
Curviamètre 1300N			
Rayon (mm)	Pression (N/mm²)	Coord. x (mm)	Coord. y (mm)
113,72	0,80	0	205

Modules élastiques estimés (N/mm²)			
E1	E2	E3	E4
20653	3283	450	

Résultats de déflexions			
Différence moyenne (µm)			0,37
Nombre d'itérations: 6			

Positions et déflexions mesurées			
CaptEUR	x(mm)	y(mm)	Déflexions(µm)
1	0	0	79,6
2	300	0	71,2
3	600	0	58,0
4	900	0	43,9

Figure 2 – Calcul inverse avec Qualidim (déflexion mesurée avec le curviamètre, modèle de chaussée en trois couches)

Remarque	Module (N/mm²)	E connu, cochez	Degré d'anisotropie (E _v /E _h)	Coefficient de Poisson	Epaisseur (mm)	Adhérence Totale = 1, Gliss. parfait = 0
Coulche d'usure	33000	<input type="checkbox"/>	1,00	0,25	205	1,00
Sous-Couche 1	1000	<input type="checkbox"/>	1,00	0,35	50	1,00
Sous-Couche 2	15000	<input type="checkbox"/>	1,00	0,25	210	1,00
Sous-Couche 3	240	<input checked="" type="checkbox"/>	1,00	0,50		

Appareil de mesures de déflexion			
Falling Weight 100kN			
Rayon (mm)	Pression (N/mm²)	Coord. x (mm)	Coord. y (mm)
150,00	1,388	0	0

Modules élastiques estimés (N/mm²)			
E1	E2	E3	E4
33903	685	20934	240

Résultats de déflexions			
Différence moyenne (µm)			1,38
Nombre d'itérations: 17			

Positions et déflexions mesurées			
CaptEUR	x(mm)	y(mm)	Déflexions(µm)
1	0	0	144
2	300	0	126
3	600	0	107
4	900	0	91
5	1200	0	77
6	1500	0	60
7	1800	0	60
8	2100	0	55
9	2400	0	51

Figure 3 – Calcul inverse avec Qualidim (déflexion mesurée au FWD, modèle de chaussée en quatre couches)

Revêtement			
Em. Btl.	Type	h (mm)	Nombre de couches
AC-14Suff11	AC-14Suff11	50	1
5412	5412	280	2

Fondation liée	
Type	Béton maigre (f _{tk} = 10MPa)
Module (N/mm²)	150

Fondation non liée	
Type	Module (N/mm²)
674	200

Sous-fondation	
Type	Module (N/mm²)
160	400

Sol	
Type	Module (N/mm²)
160	1,00

Estimation des performances de la structure globale	
1. Probabilité de rupture [2] après 20 années	93,1
2. Pour une probabilité de rupture de 50%	
- Nombre d'années	9
- Nombre de poids lourds	1 076 007

Figure 4 – Estimation de la durée de vie résiduelle d'une chaussée existante avec Qualidim

Résultats

Le logiciel Qualidim permet de conserver et d'imprimer un rapport détaillé, qui reprend:

- tous les paramètres qui ont été appliqués pour le calcul;
- les résultats intermédiaires importants qui peuvent aider à estimer si les modules d'élasticité calculés et la durée de vie résiduelle qui en découle sont réalistes.

Un logiciel similaire fournit généralement un rapport comparable.

Limites d'acceptation

Pas d'application.

Performances

Bien qu'il ne s'agisse pas d'une méthode simple et rapide pour estimer la durée de vie résiduelle, Qualidim constitue néanmoins pour les gestionnaires routiers un outil utile pour estimer si, dans le cadre de travaux programmés ou futurs, la (sous-)fondation doit aussi être réparée ou remplacée. Ces informations peuvent ainsi être prises en compte lors de la préparation des travaux et du budget. Intervenir à temps permet d'éviter les dégradations précoces de la (sous-)fondation.

La qualité et la précision des résultats dépendent de nombreux facteurs. Ceux-ci doivent donc être traités avec prudence (voir *Restrictions*).

Application

Type de route	Niveau du projet	Niveau du réseau
Autoroutes et routes principales	✓	
Voiries communales et urbaines	✓	
Trottoirs		
Pistes cyclables		
Parkings	✓	
Routes privées	✓	
Zones portuaires	✓	

Restrictions

Les calculs reposent sur plusieurs hypothèses, tant pour la structure (présentée par un modèle simplifié) que pour le calcul inverse des modules d'élasticité (basé sur les caractéristiques élastiques des matériaux) et les données du trafic. Il est dès lors recommandé:

- de réaliser, lorsqu'une solution physiquement acceptable est obtenue, quelques nouveaux calculs où les paramètres introduits pour le modèle de structure sont légèrement modifiés un par un. Ainsi, il est possible de tester la sensibilité de la solution obtenue aux variations des paramètres introduits. Les solutions stables, physiquement réalistes, sont plus facilement acceptées que les solutions instables;
- d'étudier plusieurs points de mesure dans une même section de route et de répéter les calculs avec différentes valeurs de déflexion mesurées.

Moins le modèle de la structure existante et les données du trafic seront précis, moins les calculs seront fiables.

Qualidim fonctionne avec un modèle de chaussée de trois ou quatre couches uniquement.

Certains types de structures (par exemple les revêtements en béton) sont moins adaptés au logiciel ou ne peuvent pas être modélisés avec suffisamment de précision. Les résultats sont alors plus difficiles à interpréter.

Les résultats doivent dès lors être traités avec prudence. Ils ne sont qu'un soutien pour les ingénieurs spécialisés et expérimentés du domaine routier, lors du processus décisionnel relatif aux travaux.

Complémentarité des résultats de mesure

Pas d'application.

Sécurité – Signalisation

Pas d'application.

Techniques et méthodes apparentées

- GPR (*Ground-Penetrating Radar* – géoradar).
- Carottages.
- FWD (*Falling Weight Deflectometer* – déflectomètre à masse tombante).
- Indicateurs de performances structurelles pour la gestion des chaussées.

Bibliographie

Lemlin, M., Jasienski, A., Van Cauwelaert, F., Pilate, O. & Berlémont, B. (2006)

Walloon design method for concrete pavements : improvements since 2003.

In : A century of experience : "The way ahead is concrete" : proceedings of the 10th international symposium on concrete roads, Brussels, September 18-22, 2005.17p. Paris : World Road Association (PIARC) ; Brussels : European Cement Association (CEMBUREAU).

Maeck, J. (2009)

Dimensionnement des routes à l'aide du logiciel DimMET.

In : 21e Congrès belge de la Route 2009, Gand, septembre 22-25, 2009. 10p. Bruxelles: Association belge de la Route, ABR).

Liste des fiches descriptives

1. **APL** – Mesure de l'uni longitudinal des chaussées
2. **Cartographie** – Pour un diagnostic clair
3. **FPP** – Mesure de l'uni longitudinal des pistes cyclables
4. **FWD** – Mesure des caractéristiques structurelles des chaussées
5. **GPR** – Radiographie des structures routières
6. **SKM** – Mesure de l'adhérence des chaussées
7. **Qualidim** – Calcul de la durée de vie résiduelle des chaussées
8. **Inspection visuelle pour la gestion des réseaux de voirie des villes et des communes**
9. **Indicateurs de performances structurelles pour la gestion des chaussées**
10. **ViaBEL** – Logiciel pour la gestion des chaussées
11. **CPX** – Mesures du bruit selon la méthode *Close ProXimity*
12. **Mesure de la macrotecture et de la mégatecture des revêtements à l'aide du profilomètre laser**
13. **Observation du trafic et de conflits à l'aide de caméras**
14. **Analyse du trafic par tubes pneumatiques**
15. **Contrôle géométrique des dispositifs surélevés sur la voie publique: ralentisseurs de trafic et plateaux**
16. **Analyse du trafic par radar Doppler**
17. **Mesure de la rugosité à l'aide du *Skid Resistance Tester* (pendule SRT)**
18. **Chaise de mesure** – Outil pour l'évaluation du confort des revêtements piétons
19. **Fast-FWD** – Mesure des caractéristiques structurelles des chaussées