



Belgisch **Wegen**congres Congrès belge de la **Route**

LEUVEN · 4-7.04.2022

**Conception structurelle et dimensionnement
avec la nouvelle version de Qualidim**





Centre de recherches routières
Ensemble pour des routes durables



Audrey Van der Wielen

Chercheuse (géotechnique, béton et dimensionnement)

Centre de Recherches Routières

Boulevard de la Woluwe 42

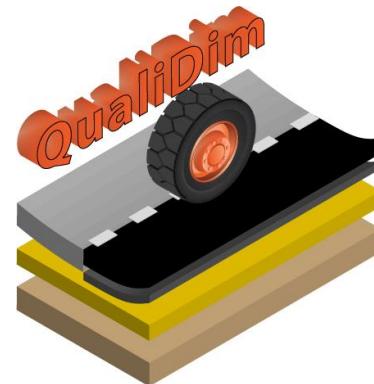
1200 Bruxelles

a.vanderwielen@brrc.be

+32.2.766.03.87



Y a-t-il parmi vous des utilisateurs du logiciel Qualidim?



Is iemand van jullie gebruiker van Qualidim software?



Conception structurelle et dimensionnement avec la nouvelle version de Qualidim



Le logiciel Qualidim

Fonctionnement du programme

- Chaussées souples et semi-rigides
- Chaussées rigides

Innovations

Perspectives



Conception structurelle et dimensionnement avec la nouvelle version de Qualidim



Le logiciel Qualidim

Fonctionnement du programme

- Chaussées souples et semi-rigides
- Chaussées rigides

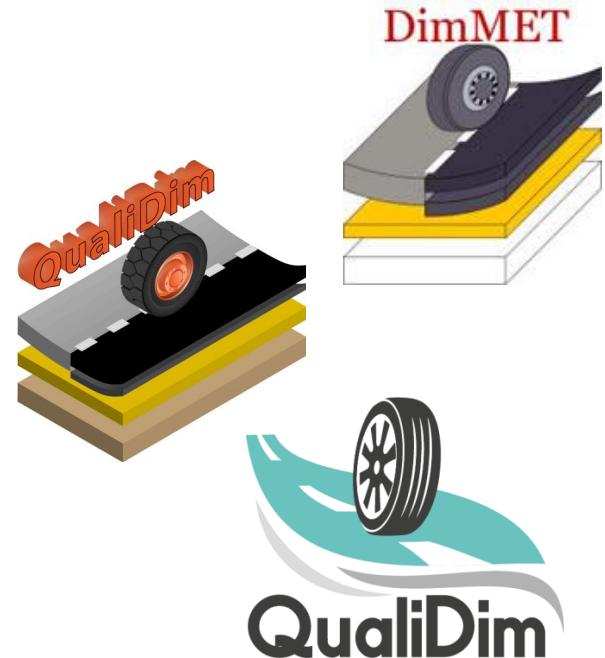
Innovations

Perspectives



Le logiciel Qualidim

- Logiciel de dimensionnement et renforcement des structures routières
- Crée dès 2000, sous le nom DimMET (jusque 2012)
- Développé à la demande du Service Public de Wallonie (SPW - DGO.1) par le Centre de recherches routières (CRR) et la Fédération de l'industrie cimentière belge (FEBELCEM)





Le logiciel Qualidim

- Beaucoup d'avantages
 - Disponible librement
 - Polyvalent
 - Adapté aux spécificités Wallonnes
 - Bestaat ook in het Nederlands
- Mise à jour du module de dimensionnement en cours dans le cadre de la rédaction du catalogue des structures du SPW



Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw
Samen voor duurzame wegen

Centre de recherches routières
Ensemble pour des routes durables





Conception structurelle et dimensionnement avec la nouvelle version de Qualidim



Le logiciel Qualidim

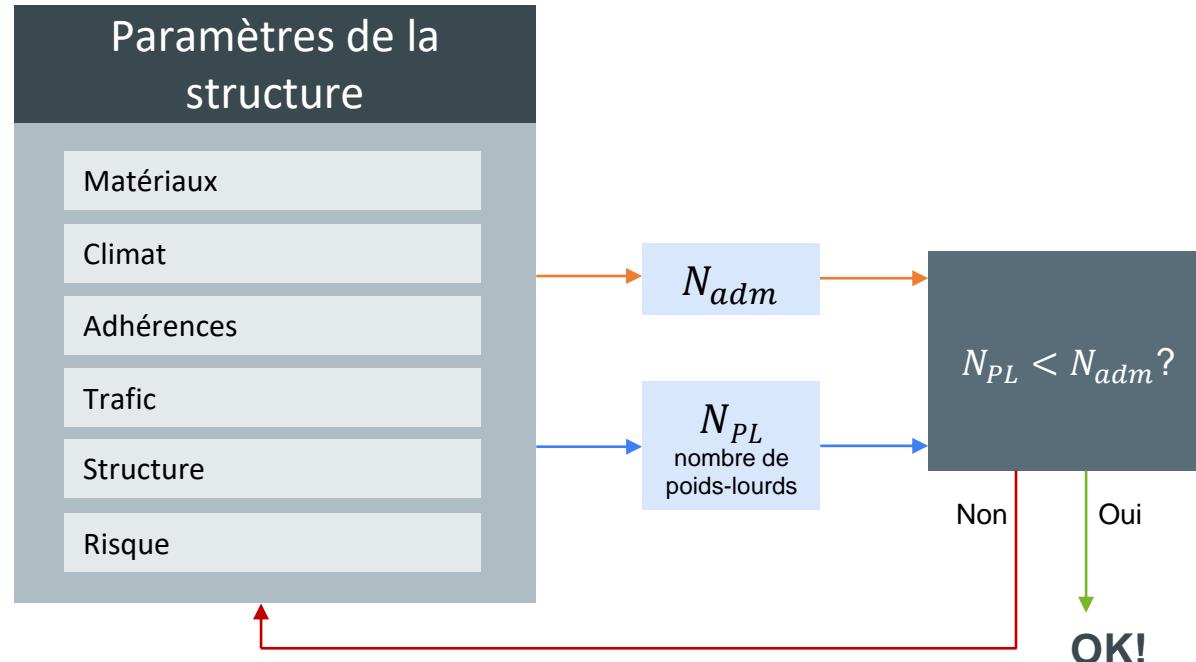
Fonctionnement du programme

- Chaussées souples et semi-rigides
- Chaussées rigides

Innovations

Perspectives

Dimensionnement selon Qualidim



Paramètres: matériaux

- La base de données reprend la plupart des matériaux repris dans Qualiroutes
- Possibilité d'introduire des matériaux spéciaux ou innovants
- Possibilité d'introduire les enrobés sur base d'un module connu ou sur base de leurs propriétés
(pénétration – T° a&b – % vides – teneur en liant)
- ➔ Calcul du module similaire à celui de Pradoweb

Dimensionnement des chaussées - S.P.W. - Cas : Dim1

Cas Langue Base de données Fonctionnalités Trafic Climat... Calcul... Aides A propos...

Fonctionnalité:
 Trafic:
 Climat:
 Structure:
 Calcul inverse

Base de données - Matériaux

Type de matériaux : Enrobés bitumineux

Ajouter Supprimer Sélectionner un matériau pour accéder aux boutons

Modifier Copier

Couche d'usure

Dénomination	% Liant	% Vides	Pénétration (1/10mm)	Temp. A&B (°C)	Non classique
AC-10Surf4-1	5,90	4,00	60,00	50,00	
AC-10Surf4-2	5,90	4,00	63,00	55,00	*
AC-10Surf4-3	5,90	4,00	60,00	50,00	

Couche de base

Dénomination	% Liant	% Vides	Pénétration (1/10mm)	Temp. A&B (°C)	Non classique
AC-20base3-1 (35/50)	4,40	5,00	42,00	54,00	
AC-20base3-1 (50/70)	4,40	5,00	60,00	50,00	

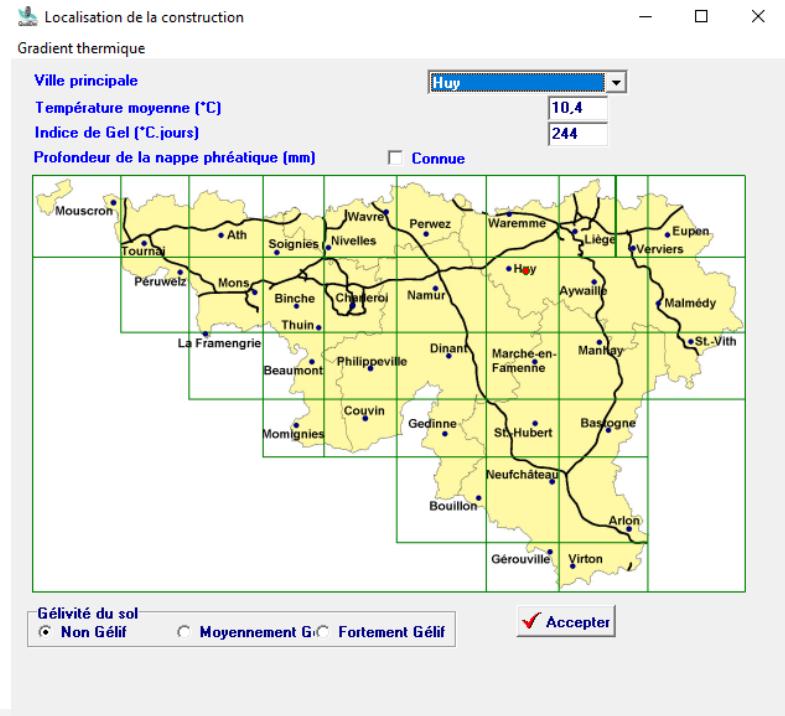
Quitter

Version 2.6.1.0 | 30.03.2021

Paramètres: climat



- Choix de la ville sur la carte
- Villes de Bruxelles et Flandre disponibles dans la liste
- Températures et rayonnement solaire (moyenne mensuelle) + indice de gel
- Mise à jour sur base des températures mesurées entre 2000 et 2020
- Pour les chaussées rigides, influence uniquement sur le dimensionnement au gel





Paramètres: climat



- En cas d'épaisseur insuffisante de structure, message d'avertissement

Dimensionnement au gel

Epaisseur prévue pour la structure (en mm) = 600

Epaisseur nécessaire des matériaux non gélifs (en mm) = 696

Pour information : Profondeur de gel (en mm) = 773

Solution 1 Nouvelle épaisseur de la sous-fondation en mm 396

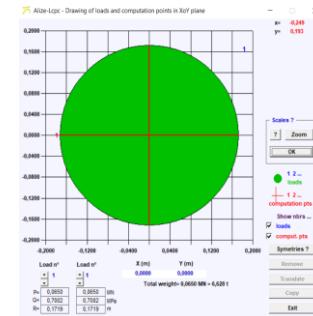
Solution 2 Remplacement du sol gélif sur une épaisseur de (mm) 36

Solution 3 Traiter le sol gélif aux liants hydrauliques sur une épaisseur de (mm) 36

OK

Paramètres: trafic

- Qualidim réalise le calcul pour chaque catégorie d'essieux
 - Les calculs sont réalisés pour chaque charge avec une pression exercée par le pneu de 7 bars
→ calcul du disque de contact
 - Possibilité d'introduire uniquement des essieux 10t (SB250)



Trafic - Histogramme simple précisé

Trafics : **Histogramme simple**

Nombre journalier de poids lourds : **1400**

Nombre de jours ouvrables : **300**

Taux de croissance annuel [%] : **5,0**

Durée de service en années : **20**

Nombre moyen d'essieux par poids lourd : **4,00**

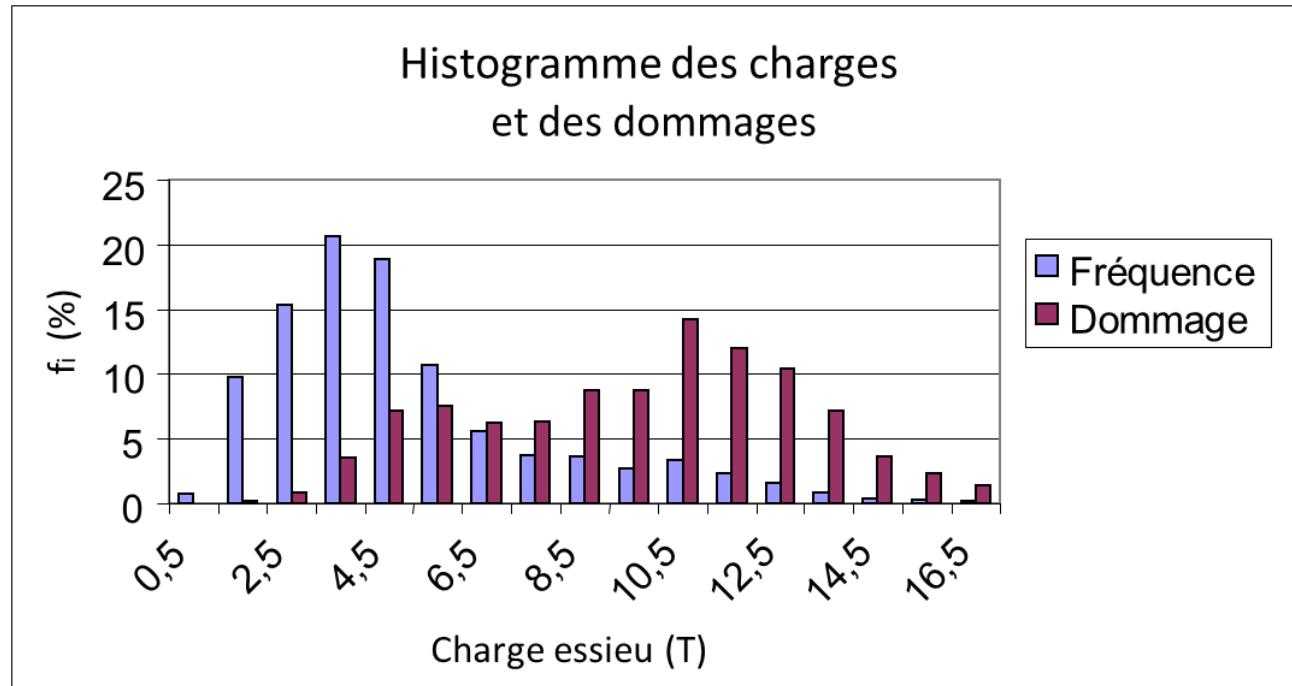
Histogramme simple

Classe	Charge par essieu (kN)	Fréquence
1	5	0,70
2	15	9,73
3	25	15,35
4	35	20,71
5	45	18,86
6	55	10,68
7	65	5,45
8	75	3,69
9	85	3,59
10	95	2,65
11	105	3,33
12	115	2,22
13	125	1,56
14	135	0,89
15	145	0,32
16	155	0,18
17	165	0,09

Sauver dans base de données



Paramètres: trafic



Paramètres: trafic



Histogramme WIM

- De plus en plus de camions présentent des essieux tandem et tridem
- Addition des charges → Un tridem est plus agressif pour les couches de fondation que trois essieux isolés

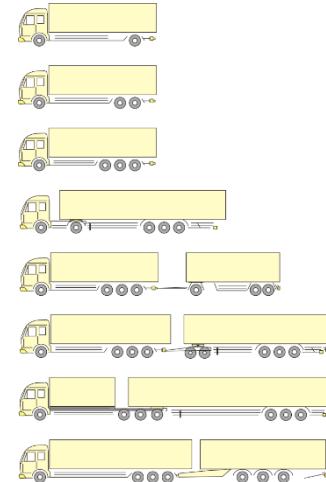
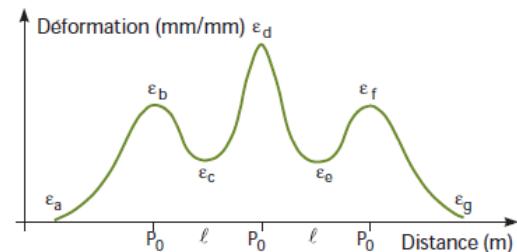


Figure 13 Déformations à la base du revêtement (tridem)

Paramètres: trafic

Histogramme WIM

- Qualidim permet d'introduire des histogrammes WIM (weight in motion)
- Intégration d'un histogramme WIM intégrant des valeurs mesurées sur autoroute en Région Wallonne en 2020
- Prise en compte des tridems dans les calculs selon la méthode de la relaxation partielle

L'idéal reste de disposer de données propres au projet!

Histogramme WIM

Traffic : Histogramme WIM 2020

Nombre journalier de poids lourds :	1000	Calcul
Nombre journalier de poids lourds corrigé :	<input type="checkbox"/> 1000	Valeur par défaut
Nombre de jours ouvrables :	300	
Taux de croissance annuel (%) :	1,0	
Durée de service en années :	20	
Nombre de poids lourds observés :	60000	
Nombre moyen d'essieux par poids lourd :	4,11	

Connue

Valeur par défaut

Histogramme WIM

Classe	Charge par essieu (kN)	Simple	Tandem	Tridem
1	10	10104	356	26
2	30	11780	357	111
3	50	22124	5918	2802
4	70	42468	2988	4397
5	90	15909	2480	3038
6	110	10206	1967	2594
7	130	3125	1310	2137
8	150	347	656	1817
9	170	20	295	1972
10	190	1	104	2838
11	210	0	37	4334
12	230	0	11	3743
13	250	0	11	1846
14	270	0	4	650
15	290	0	1	161
16	310	0	0	41
17	330	0	0	10



Paramètres: trafic



Nombre de poids-lourds corrigé

Trafic - Histogramme simple

Traffic :	<input type="button" value=""/>	
Nombre journalier de poids lourds :	1000	
Nombre journalier de poids lourds corrigé :	<input type="checkbox"/> 850	
Nombre de jours ouvrables :	300	
Taux de croissance annuel (%) :	1,0	
Durée de service en années :	20	
Nombre moyen d'essieux par poids lourd :	1,00	
Histogramme simple		
Classe	Charge par essieu (kN)	Fréquence
1	100	100,00

Calcul du nombre de poids lourds corrigé

Nombre de poids lourds / jour par direction (sauf bus) :	1000
Nombre de bus / jour :	<input type="button" value=""/>
Nombre de bandes de circulation par direction :	1
Chaussée bidirectionnelle de largeur <= 5 m :	<input type="checkbox"/>
Largeur des bandes de circulation (m) :	3,5
Vitesse de dimensionnement (km/h) :	90 ou plus
Carrefour, rond-point, arrêt de bus,...	<input type="checkbox"/>
Nombre journalier de poids lourds corrigé :	850

Quitter **Accepter**



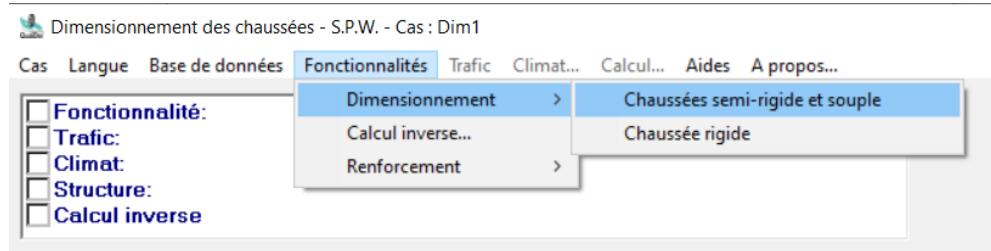
Paramètres: adhérences

- Adhérences dans la base de données
- Pour le béton, dégradation du collage dans le temps → 4 périodes de calcul

Type	0-10 ans	10-20 ans	20-30 ans	30-... ans
Béton / enrobé bitumineux	1	0.66	0.33	0.10
Enrobé bitumineux / fondation liée	0.5	0.33	0.1	0.1
Béton / fondation liée	0.1	0.1	0.1	0.1
Enrobé bitumineux / enrobé bitumineux	1	1	1	1
Enrobé bitumineux / béton	1	1	0.5	0.5
Enrobé bitumineux / granulaire	0.33	0.33	0.1	0.1
Béton / granulaire	0.1	0.1	0.1	0.1
Granulaire / granulaire	1	1	1	1
Fondation liée / granulaire	0.33	0.33	0.1	0.1
Béton / béton	0.1	0.1	0.1	0.1

Paramètres: structure

- Choix initial souple/semi-rigide ou rigide



- Intégration des différentes couches dans la fenêtre de calcul

Revêtement		Nombre de couche(s) (1 à 4)		Nombre de couches
		(*)	Type	h (mm)
Enr. Bit.		<input type="checkbox"/>	AC-14Surf1-1	50
Enr. Bit.		<input type="checkbox"/>	AC-20base3-1 (35/50)	100
<small>(*)Bitume modifié (**) Enrobé à module connu</small>				
Fondation liée <input checked="" type="checkbox"/>				
<input type="radio"/> Type Béton maigre ($R'bk = 10\text{MPa}$)				
<input type="radio"/> Module (N/mm^2)				
h (mm) <input type="text" value="150"/>				
Fondation non liée <input type="checkbox"/>				
<input type="radio"/> Type Type I et II continue				
<input type="radio"/> Module (N/mm^2)				
h (mm) <input type="text" value="0"/>				
Sous-fondation <input checked="" type="checkbox"/>				
<input type="radio"/> Type Type 2 granulaire continue				
<input type="radio"/> Module (N/mm^2)				
h (mm) <input type="text" value="400"/>				
Sol				
<input type="radio"/> Type Sol qualité 'conforme' ($M1>= 17$)				
<input type="radio"/> Module (N/mm^2)				
Degré d'anisotropie <input type="text" value="1"/>				

Paramètres: risque de calcul



= probabilité de rupture

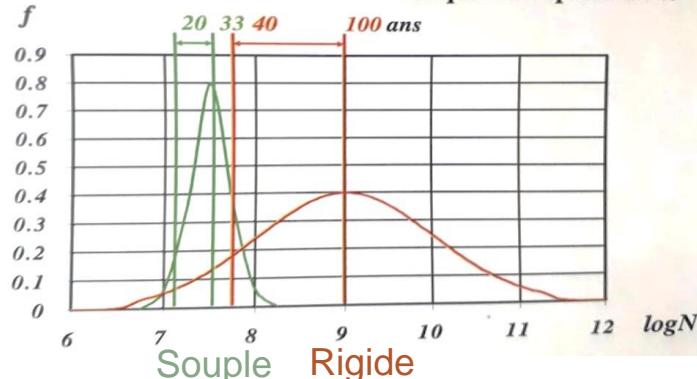
= proportion de la chaussée dégradée après la durée de vie

- La probabilité de rupture est calculée sur base d'une loi log-normale centrée en N_{PL} avec un écart-type de 0.3 (pour les structures souples) et 1 (pour les structures rigides)
 - Autoroutes → risque=10%
 - Routes moins importantes → risque=50%

Nombre de poids lourds prévus	6.61E+006
Probabilité de rupture (%)	50
Estimation des performances de la structure globale	
1. Probabilité de rupture (%) après 20 années	41.7
2. Pour une probabilité de rupture de 50%	
- Nombre d'années	> 20
- Nombre de poids lourds	1.07E+007

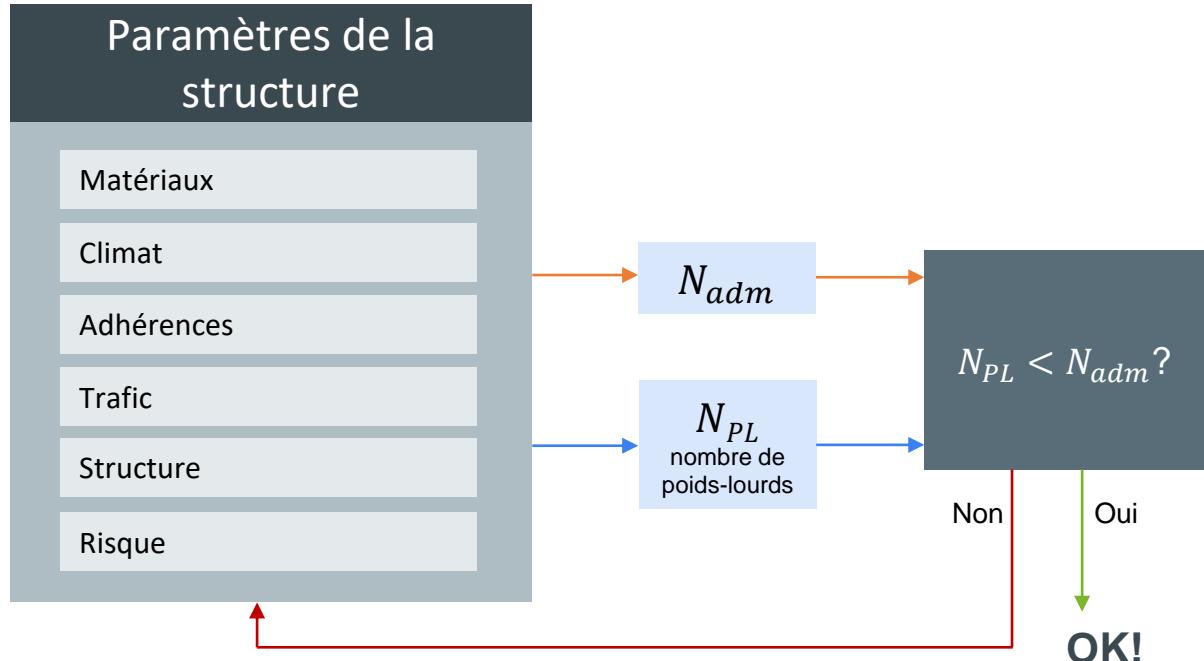
DISTRIBUTION DES ESSIEUX AUTORISÉS

Risque de rupture 10%





Dimensionnement selon Qualidim



Dimensionnement - Structure semi-rigide ou souple

Sauver structure Charger structure Rapport

Revêtement

Nombre de couche(s) (1 à 4)

	Type	Nombre de couches
Enr. Bit.	AC-145url1-1	50
Enr. Bit.	AC-20base3-1 (50/70)	100

(*)Bitume modifié (**) Enrobé à module connu

Fondation liée

Type Béton maigre ($R'_{bk} = 10 \text{ MPa}$)

Module (N/mm^2)

h (mm)

Fondation non liée

Type Type I et II continue

Module (N/mm^2)

h (mm)

Sous-fondation

Type Type 2 granulaire continue

Module (N/mm^2)

h (mm)

Sol

Type Sol qualité 'conforme' ($M1 > 17$)

Module (N/mm^2)

Degré d'anisotropie

Nombre de poids lourds prévus

Probabilité de rupture (%):

Estimation des performances de la structure globale

1. Probabilité de rupture (%) après 20 années

2. Pour une probabilité de rupture de 50%

- Nombre d'années

- Nombre de poids lourds

Adhérence

Modèle





Revêtement

Nombre de couche(s) (1 à 4)

	Nombre de couches
Enr. Bit.	50
Enr. Bit.	100

(*) Bitume modifié (**) Enrobé à module connu

Fondation liée

Type Béton maigre ($R'bk = 10 \text{ MPa}$)

Module (N/mm^2)

h (mm) 200

Fondation non liée

Type Type I et II continue

Module (N/mm^2)

h (mm) 0

Sous-fondation

Type Type 2 granulaire continue

Module (N/mm^2)

h (mm) 300

Sol

Type Sol qualité 'conforme' ($M1 > 17 \text{ l}$)

Module (N/mm^2)

Degré d'anisotropie 1,00

Nombre de poids lourds prévus 6,61E+006

Probabilité de rupture (%): 50

Estimation des performances de la structure globale

1. Probabilité de rupture (%) après 20 années 41,7

2. Pour une probabilité de rupture de 50%
- Nombre d'années > 20

- Nombre de poids lourds 1,07E+007

Rupture par déformation excessive au niveau du sol, après fissuration de la fondation liée

Adhérence

Modèle Valeurs par défaut

Détails...

Calcul

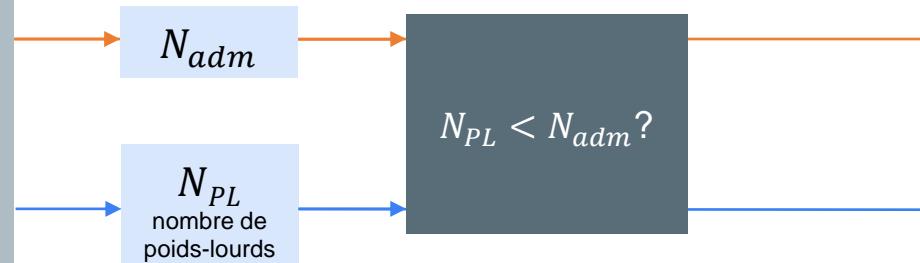
Retour

La structure résiste au gel : Sol non gélif

 N_{PL}  N_{adm}

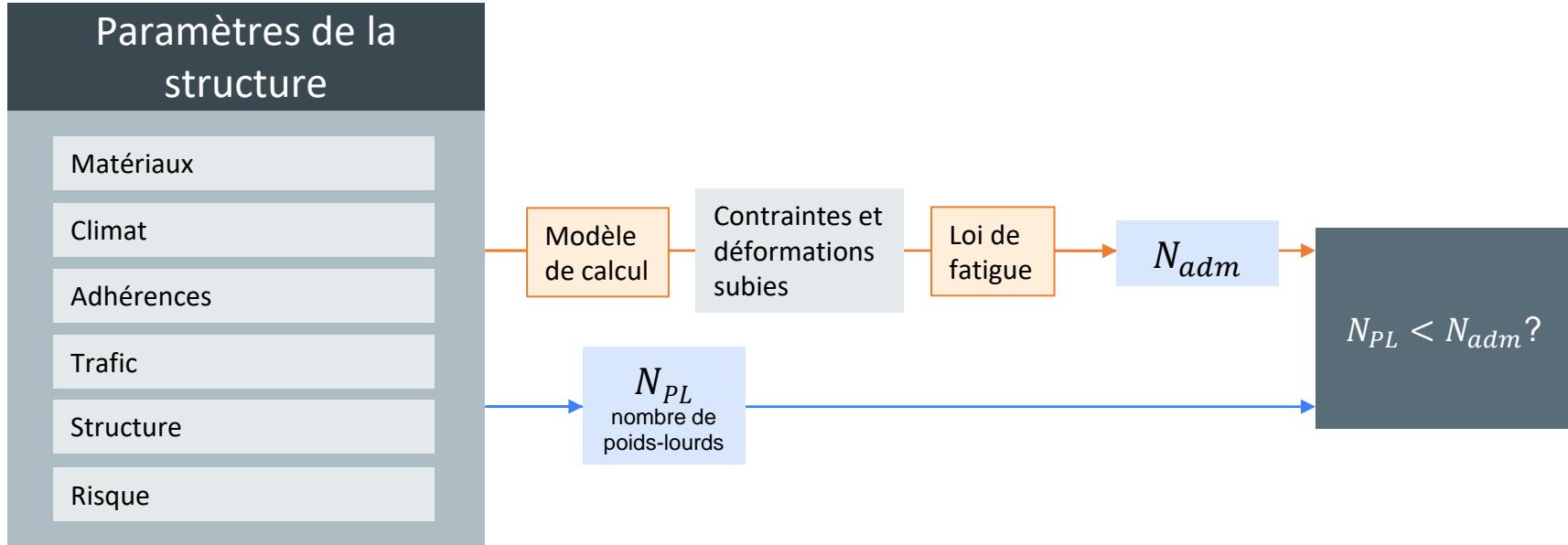


Dimensionnement selon Qualidim





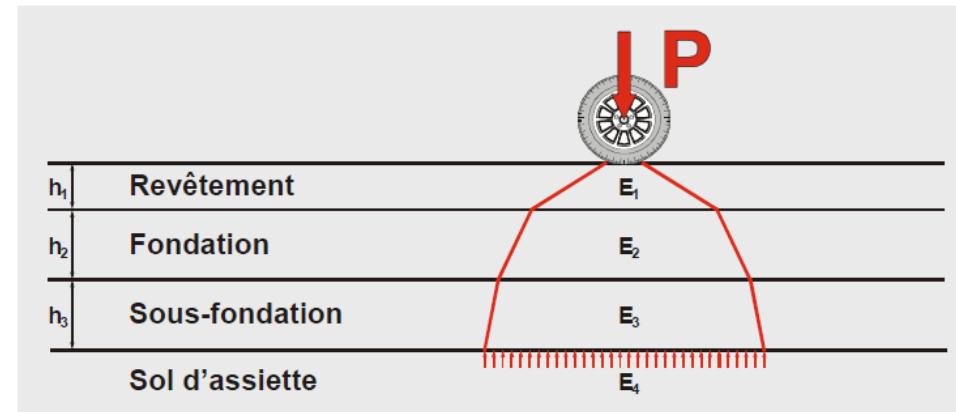
Dimensionnement selon Qualidim



Modèle de calcul – chaussées souples



Pour les chaussées souples et semi-rigides, calcul sur base du modèle de Burmister:
couches infinies homogènes et isotropes



Modèle de calcul – chaussées rigides



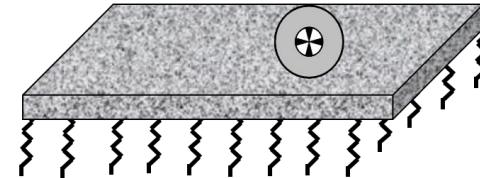
Pour les chaussées rigides, nécessité de prendre en compte les effets de bord

- Revêtement modélisé en tant que dalle (modèle de Westergaard)
- La réaction verticale du sol q est proportionnelle à la charge

Hypothèse de Winkler:

$$q = k \cdot w(x, y)$$

- q =contrainte verticale, w est la déflexion et k la rigidité du sol



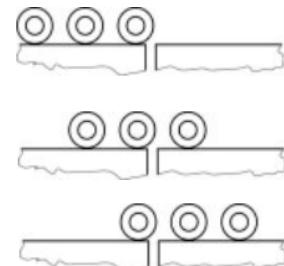
- Possibilité de prendre en compte le cisaillement du sol → Module de Pasternak G

Modèle de calcul – chaussées rigides



Deux types de contraintes sollicitent le béton:
les contraintes thermiques et les contraintes mécaniques

- Les **contraintes mécaniques** sont maximales en bord de dalle, quand la charge est elle aussi en bord de dalle
 - Pas d'influence de la dimension des dalles
 - Influence du type d'essieux et du type de transfert de charge au joint
 - Dimensionnement sur base de la contrainte au joint
 - ➔ Calcul de la distance minimale entre le pneu et le bord de la dalle

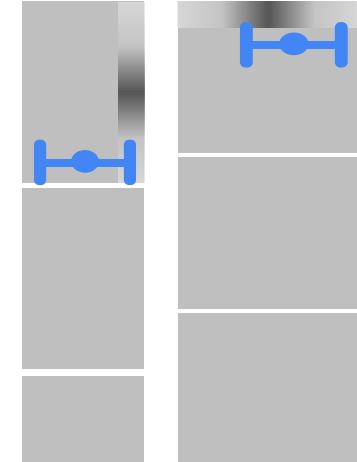


Modèle de calcul – chaussées rigides



Deux types de contraintes sollicitent le béton:
les contraintes thermiques et les contraintes mécaniques

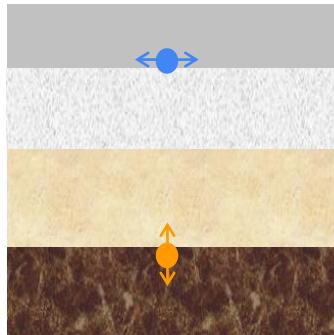
- Les **contraintes thermiques** sont maximales en bord de dalle, au milieu du bord le plus long
 - Calculées sur la longueur ou la largeur de la chaussée
 - Elles peuvent être supérieures aux contraintes mécaniques
 - Elles sont les plus pénalisantes en cas de gradient thermique positif
➔ traction à la base de la dalle



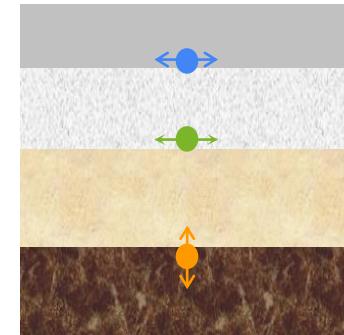
Modèle de calcul – modes de rupture



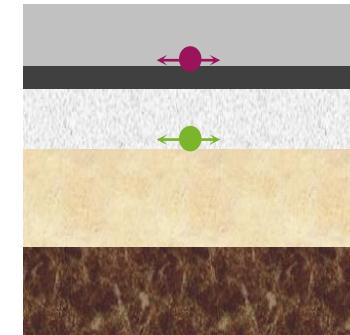
Souple



Semi-rigide



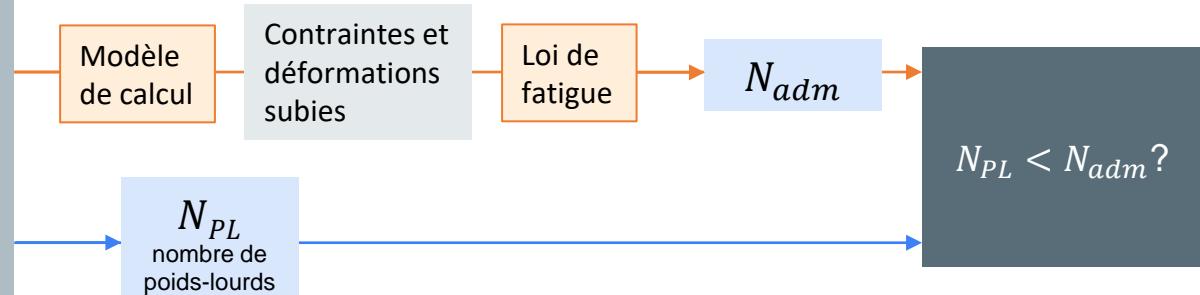
Rigide



➔ Calcul pour chaque type et charge d'essieux, pour chaque saison, pour chaque état d'adhérence et de fissuration



Dimensionnement selon Qualidim



Dimensionnement: lois de fatigue



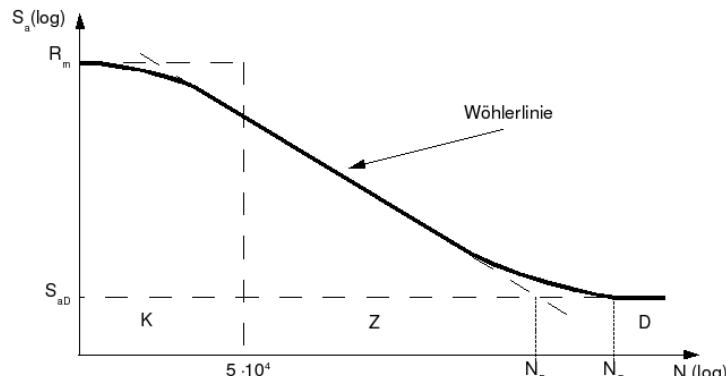
- Les essais de fatigue permettent de déterminer la durée de vie pour chaque niveau de sollicitation
- Loi pour les bétons:

$$\log N = 15 \left[\frac{1 - \frac{\sigma_{fl} + \sigma_{th}}{\sigma_{br}}}{1 - 0,75 \frac{\sigma_{th}}{\sigma_{br}}} \right]$$

σ_{fl} : contrainte de flexion (N/mm^2)

σ_{th} : contrainte thermique (N/mm^2)

σ_{br} : contrainte de rupture (N/mm^2)



= Résistance moyenne à la traction par flexion



QualiDim: lois de fatigue

- Chaussées souples

$$NE_{enrobé} = 10^6 * \left(\frac{\varepsilon_6 * 10^{-6}}{\varepsilon_y(P, T^\circ)} \right)^{0,4762}$$

- Sol et matériaux granulaires:

$$NE_{sol} = \left(\frac{0.011}{abs(\varepsilon_z)} \right)^{4.35}$$

- Fondations liées

$$\log N = 14 \left[\frac{1 - \frac{\sigma_{fl} + \sigma_{th}}{\sigma_{br}}}{1 - 0,75 \frac{\sigma_{th}}{\sigma_{br}}} \right]$$

QualiDim: cas de la fondation liée



- C'est souvent la fondation liée qui se rompt en premier sous le passage des charges
- Une fissuration de la fondation ne signifie pas directement la fin de la durée de vie
→ Calcul d'une seconde phase avec module réduit et module de Poisson augmenté, ainsi qu'une réduction d'adhérence à l'interface (on se rapproche d'une fondation non liée)

$$N_{total} = N_{fond. liée} + \left(1 - \frac{N_{fond. liée}}{N_{rev}}\right) N_{fond. fiss}$$

Dimensionnement: loi de Miner



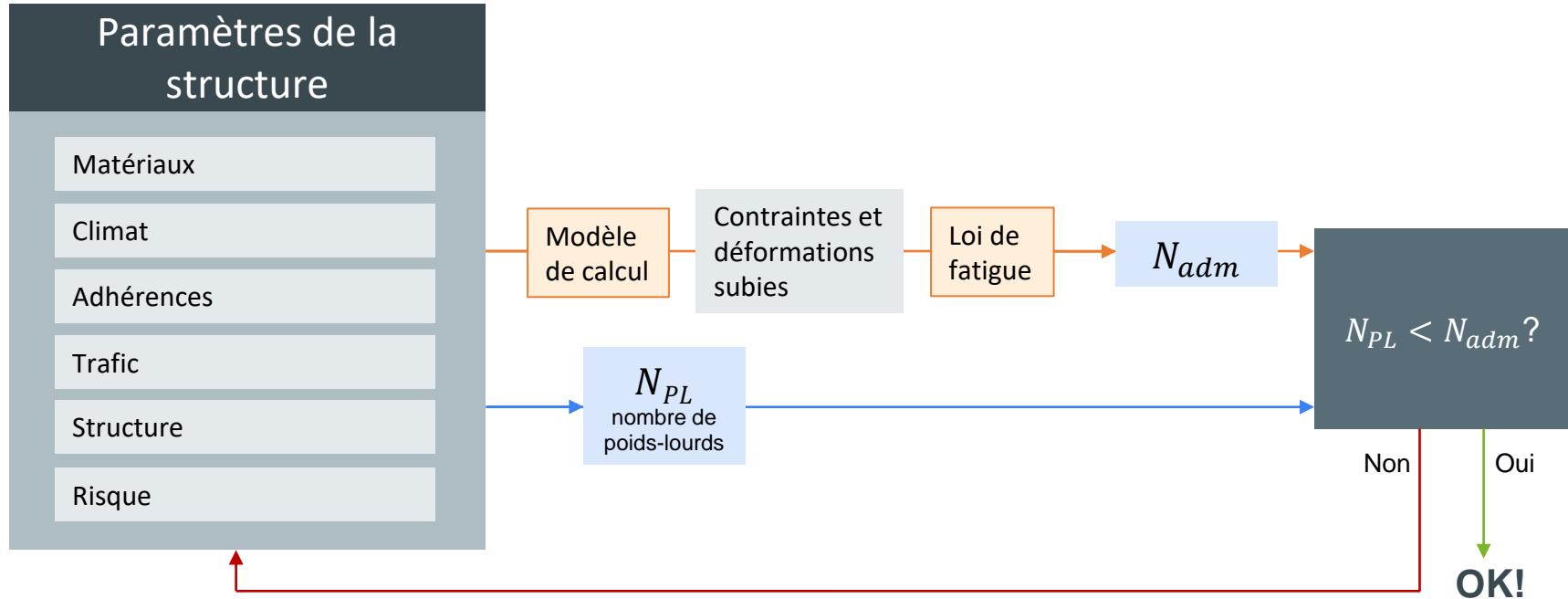
- La loi de fatigue est appliquée pour un grand nombre de cas (pour chaque type de charge, saison,...) → durées de vie N_i
- Les durées de vie calculées N_i sont combinées en fonction de leur fréquence f_i en utilisant la loi de Miner:

$$\frac{f_1 N}{N_1} + \frac{f_2 N}{N_2} + \dots + \frac{f_n N}{N_n} = 1$$

d'où :

$$N = \frac{1}{\frac{f_1}{N_1} + \frac{f_2}{N_2} + \dots + \frac{f_n}{N_n}}$$

Dimensionnement selon Qualidim





Conception structurelle et dimensionnement avec la nouvelle version de Qualidim



Le logiciel Qualidim

Fonctionnement du programme

- Chaussées souples et semi-rigides
- Chaussées rigides

Innovations

Perspectives



Innovations

Climat

Matériaux

Trafic

Probabilité de rupture

Visuel

Rapport

Paramètres



Rapport amélioré



- Tableau récapitulatif de la structure et des adhérences
- Phrase de conclusion sur la rupture dans le rapport et le module calcul:
« Rupture par déformation excessive au niveau du sol, après fissuration de la fondation liée »
- Tableau récapitulatif de la durée de vie

Adhérence initiale	Epaisseur (mm)	Couche	Dénomination	Module initial à 15°C (MPa)
1,00	50	Enrobé bitumineux	AC-14Surf1-1	10067
0,50	100	Enrobé bitumineux	AC-20base3-1 (35/50)	17539
0,33	200	Fondation liée	Béton maigre (R _{bk} = 10 MPa)	15000
1,00	300	Sous-Fondation	Type 2 granulaire continue	200
	Infini	Sol	Sol qualité 'conforme' (M ₁ >= 17 MPa)	40

	Nombre autorisé de Poids lourds			
	Sur enrobé	Sur fond. liée	Sur sol	Sur structure totale
Période 1 : Fondation liée saine	1,1E+011	8,6E+004	1,8E+008	8,6E+004
Période 2 : Fondation liée fissurée	2,7E+007		1,1E+007	1,1E+007
Durée de vie totale				1,1E+007



Paramètres

- Automatisation du choix des paramètres liés
- ➔ Gain de temps et diminution du risque d'erreur

Dimensionnement - Structure rigide

Sauver structure Charger structure Rapport

Structure rigide

Béton

Classe de Résistance Réseau I - Sans E.A.

Module (N/mm²)

h(mm) 120

Type de transfert au joint Joints non goujonnés

Enrobé bitumineux

Module (N/mm²) 13000 Par défaut

h(mm) 30

Fondation liée

Type Béton maigre (R'bk = 10MPa)

Module (N/mm²)

h(mm) 240

Fondation non liée

Type Matériau granulaire Type I

Module (N/mm²)

h(mm) 0

Sous-fondation

Type Type I

Module (N/mm²)

h(mm) 150

Sol

Type Argile

C.B.R.

Portance équivalente (N/mm²) 0,03

Module de Pasternak G (N/mm) 0

Adhérence entre couches

Modèle : Valeurs par défaut

Détails...

Nombre de poids lourds prévus 8,93E+006

Estimation des performances de la structure globale

1. Probabilité de rupture(%) après 20 années 65,2
2. Pour une probabilité de rupture de 50%
 - Nombre d'années 10
 - Nombre de poids lourds 3,62E+006

Estimation de la surlagerure

Surlagerure (mm) 60

Facteur dynamique 1,0

Coefficient de calage 1,1

Prise en compte du gradient thermique

Modèle de gradients thermiques choisi : BAC / I = 3,50m

Détails...

Période d'adhérence : 4

Calcul Retour



Conception structurelle et dimensionnement avec la nouvelle version de Qualidim



Le logiciel Qualidim

Fonctionnement du programme

- Chaussées souples et semi-rigides
- Chaussées rigides

Innovations

Perspectives

Perspectives



- Lancement de la nouvelle version de Qualidim (fin 2022?)
<http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/qualidim.html>
- Publication en même temps que le catalogue des structures du SPW
- Rédaction d'un guide utilisateur détaillé
- Organisation de formations théoriques et pratiques pour les utilisateurs du programme



Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw
Samen voor duurzame wegen
Centre de recherches routières
Ensemble pour des routes durables



Belgisch **Wegen**congres
Congrès belge de la **Route**
LEUVEN • 4-7.04.2022



UNE ORGANISATION



ABR

Association
Belge de la Route



**AGENTSCHAP
WEGEN & VERKEER**

AVEC LE SOUTIEN DE



Centre de
recherches routières



BRUXELLES MOBILITÉ
SERVICE PUBLIC RÉGIONAL DE BRUXELLES

 **Wallonie**
mobilité infrastructures
SPW



FBEV
Fédération Belge des Entrepreneurs de Travaux de Voirie asbl



Contact

 Audrey Van der Wielen

 +32.2.766.03.87

 a.vanderwielen@brrc.be

