



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

LEUVEN • 4-7.04.2022

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





Belgisch **Wegencongres**  
Congrès belge de la **Route**

LEUVEN • 4-7.04.2022



**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](mailto: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

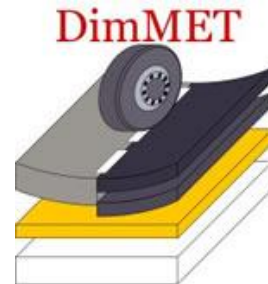
### Innovations

### Perspectives



## Le logiciel Qualidim

- Logiciel de dimensionnement et renforcement des structures routières
- Créé 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

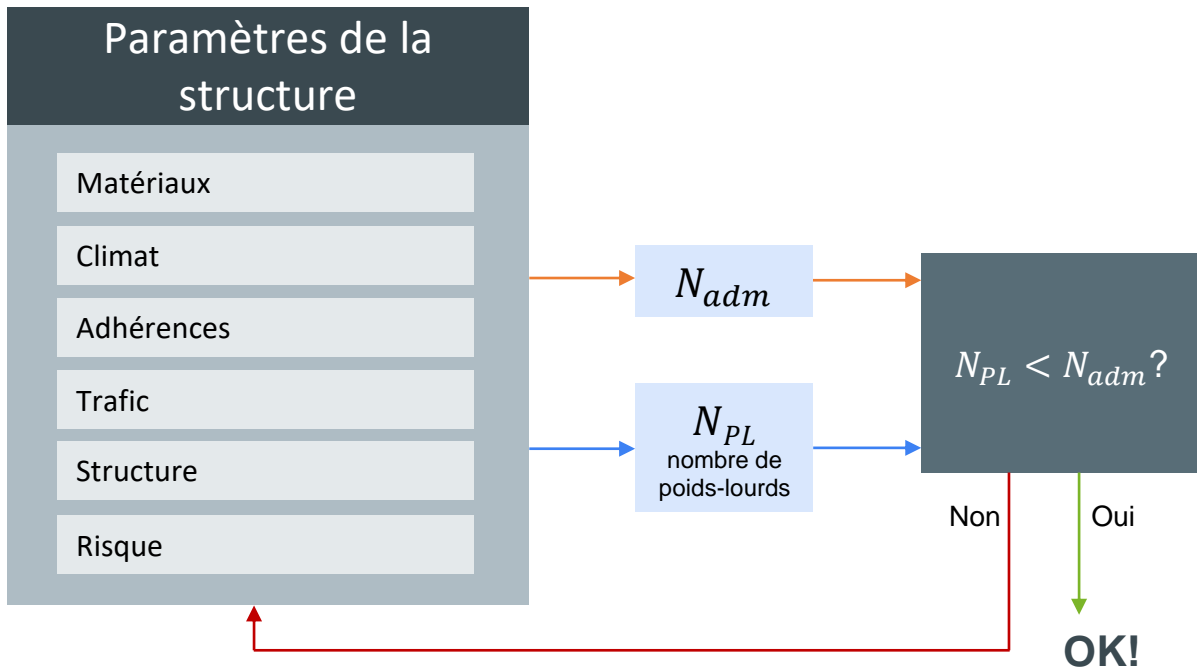
Innovations

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] [Modifier] Sélectionner un matériau pour accéder aux boutons

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	*

**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

Localisation de la construction

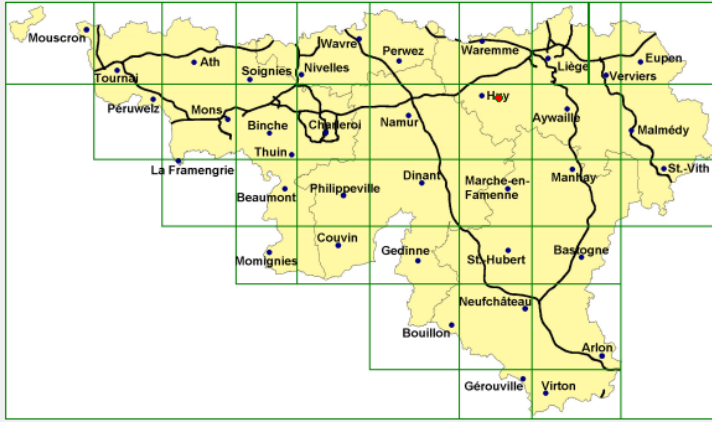
Gradient thermique

Ville principale: **Huy**

Température moyenne (°C): **10,4**

Indice de Gel (°C.jours): **244**

Profondeur de la nappe phréatique (mm): ☐ Connue




Géivité du sol: ☒ Non Gélif ☐ Moyennement G ☐ Fortement Gélif



## 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) =

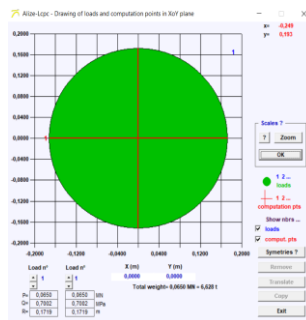
773

<b>Solution 1</b>	<b>Nouvelle épaisseur de la sous-fondation en mm</b>	<b>396</b>
<b>Solution 2</b>	<b>Remplacement du sol gélif sur une épaisseur de (mm)</b>	<b>96</b>
<b>Solution 3</b>	<b>Traiter le sol gélif aux liants hydrauliques sur une épaisseur de (mm)</b>	<b>96</b>

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** Valeur par défaut

**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

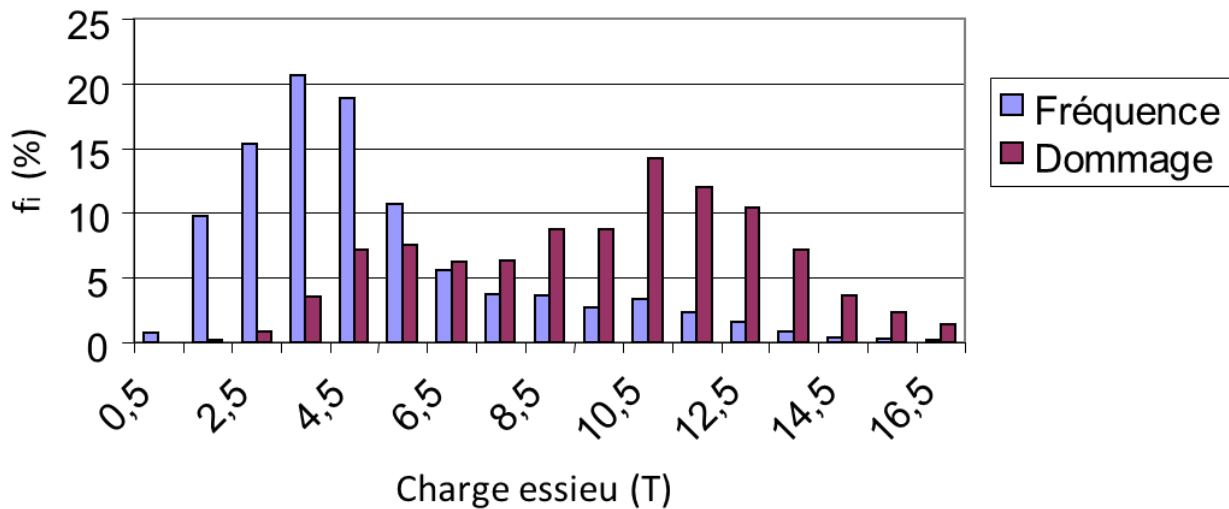
Retour au menu principal  
 Accepter



## Paramètres: trafic



Histogramme des charges  
et des dommages





## 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

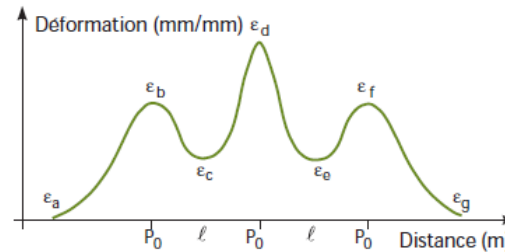
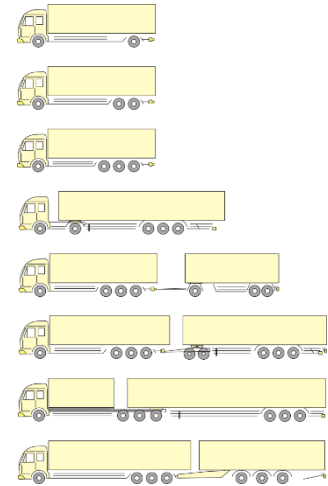


Figure 13 Déformations à la base du revêtement (tridem)




## 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

Trafics :

Histogramme WIM 2020

Nombre journalier de poids lourds :

1000

Nombre journalier de poids lourds corrigé :
☐

1000

Calcul

Nombre de jours ouvrables :

300

Taux de croissance annuel (%):

1,0

Durée de service en années :

20

Nombre de poids lourds observés :

60000

☒ Connu

Nombre moyen d'essieux par poids lourd :

4,11

Valeur par défaut

Calculer

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

Sauver dans base de données

Retour au menu principal

Accepter





## Paramètres: trafic



### Nombre de poids-lourds corrigé

Trafic - Histogramme simple

Traffic :

Nombre journalier de poids lourds :

Nombre journalier de poids lourds corrigé : ☐

Nombre de jours ouvrables :

Taux de croissance annuel (%) :

Durée de service en années :

Nombre moyen d'essieux par poids lourd :  Valeur par défaut

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) :

Nombre de bus / jour :  Standard  
 Articulé

Nombre de bandes de circulation par direction :

Chaussée bidirectionnelle de largeur <= 5 m : ☐

Largeur des bandes de circulation (m) :

Vitesse de dimensionnement (km/h) :

Carrefour, rond-point, arrêt de bus,... ☐

Nombre journalier de poids lourds corrigé :



## Paramètres: adhérences

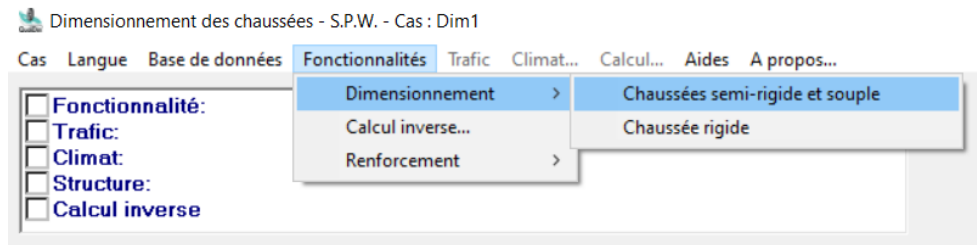
- Adhérences dans la base de données
- Pour le béton, dégradation du collage dans le temps → 4 périodes de calcul

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

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

**Fondation liée** ☒

☒ Type Béton maigre (R'bk = 10MPa)

☐ Module (N/mm²)

h (mm) 150

**Fondation non liée** ☐

☒ Type Type I et II continue

☐ Module (N/mm²)

h (mm) 0

**Sous-fondation** ☒

☒ Type Type 2 granulaire continue

☐ Module (N/mm²)

h (mm) 400

**Sol**

☒ Type Sol qualité 'conforme' (M1 >= 17 I)

☐ Module (N/mm²)

Degré d'anisotropie 1

## Paramètres: risque de calcul



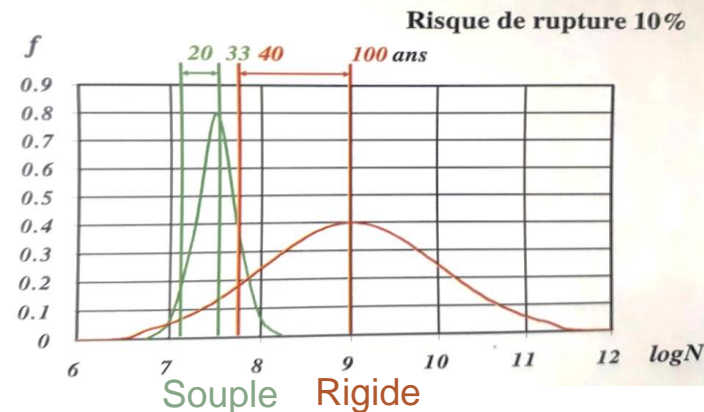
= probabilité de rupture

= proportion de la chaussée dégradée après la durée de vie

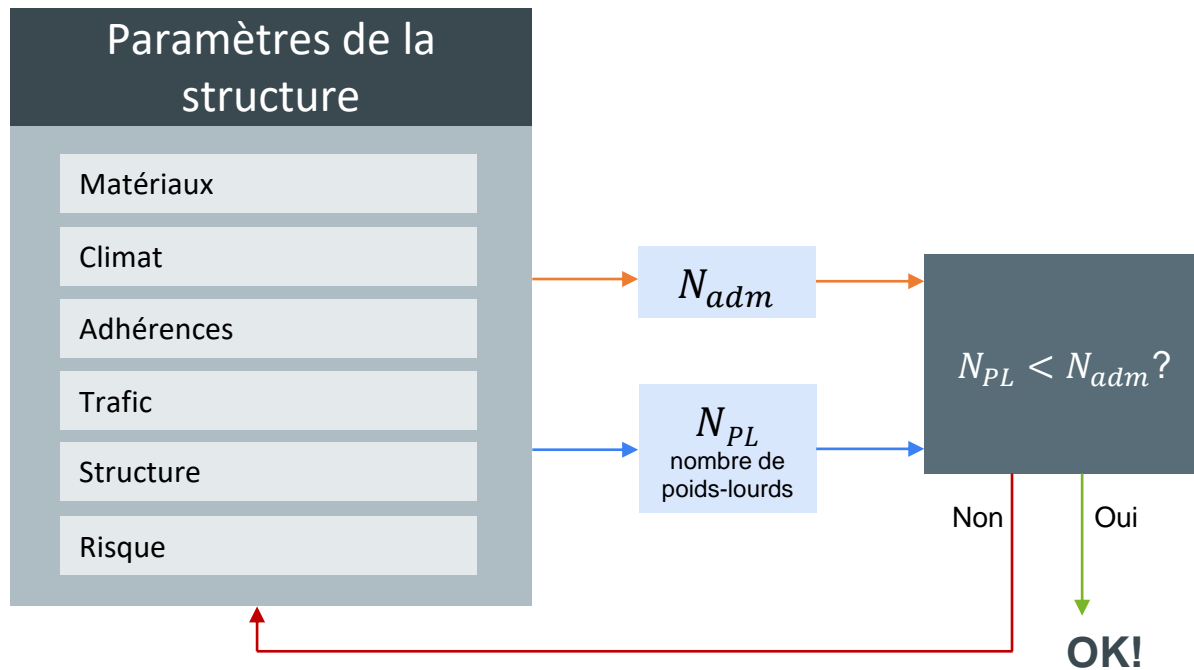
Nombre de poids lourds prévus	6,61E+006
Probabilité de rupture (%): ?	50
Estimation des performances de la structure globale	
1. Probabilité de rupture (%) après 20 années	41,7
2. Pour une probabilité de rupture de 50%	
- Nombre d'années	> 20
- Nombre de poids lourds	1,07E+007

- 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%

### DISTRIBUTION DES ESSIEUX AUTORISÉS



## Dimensionnement selon Qualidim



## 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 (50/70)	100

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

## Fondation liée



Type

Béton maigre ( $R'_{bk} = 10\text{MPa}$ )Module ( $\text{N/mm}^2$ )

h (mm)

200

## Fondation non liée



Type

Type I et II continue

Module ( $\text{N/mm}^2$ )

h (mm)

0

## Sous-fondation



Type

Type 2 granulaire continue

Module ( $\text{N/mm}^2$ )

h (mm)

300

## Sol

Type

Sol qualité 'conforme' ( $M1 \geq 171$ )Module ( $\text{N/mm}^2$ )

Degré d'anisotropie

1.00

Nombre de poids lourds prévus

Probabilité de rupture (%): ?

50

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

Valeurs par défaut

Détails...

Calcul

Retour

Dimensionnement - Structure semi-rigide ou souple

Sauver structure Charger structure Rapport

---

**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 [50/70]	100

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

**Fondation liée** ☒

☒ Type Béton maigre (R'bk = 10MPa)

☐ Module (N/mm²)

h (mm) 200

**Fondation non liée** ☐

☒ Type Type I et II continue

☐ Module (N/mm²)

h (mm) 0

**Sous-fondation** ☒

☒ Type Type 2 granulaire continue

☐ Module (N/mm²)

h (mm) 300

**Sol**

☒ Type Sol qualité 'conforme' (M1 >= 17 I)

☐ Module (N/mm²)

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

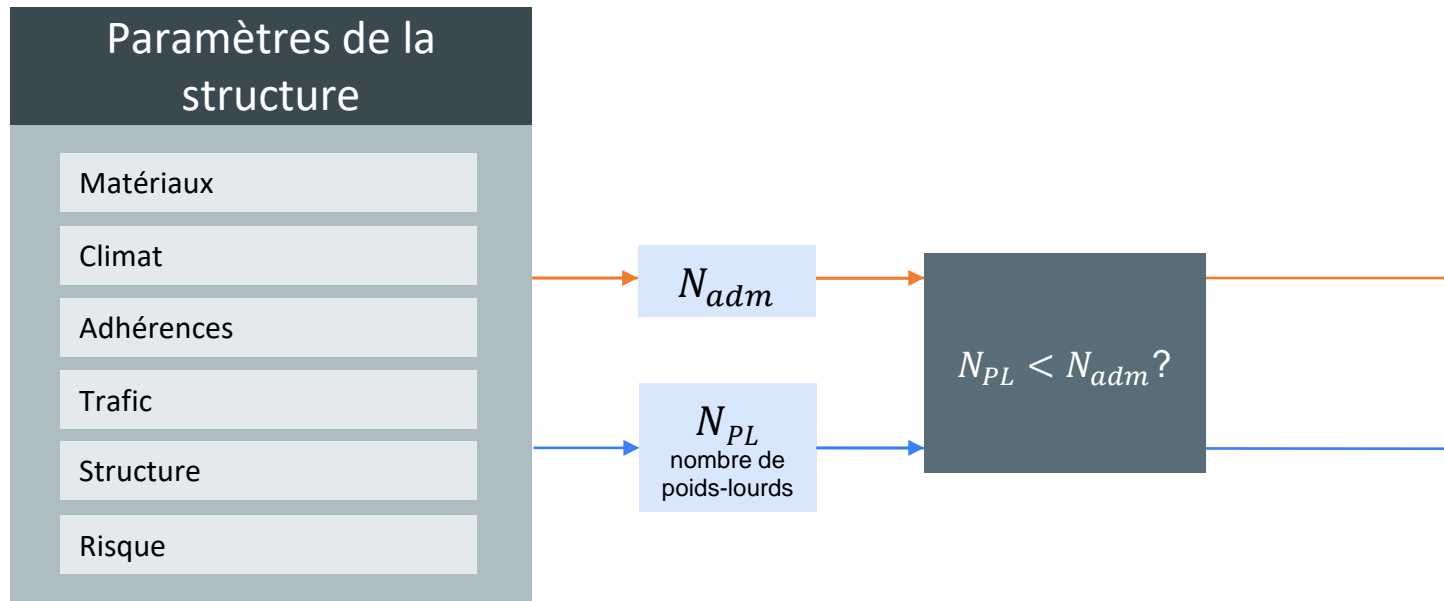
La structure résiste au gel : Sol non gélif

 $N_{PL}$ 
 $\Lambda$ 

**OK!**
 $N_{adm}$



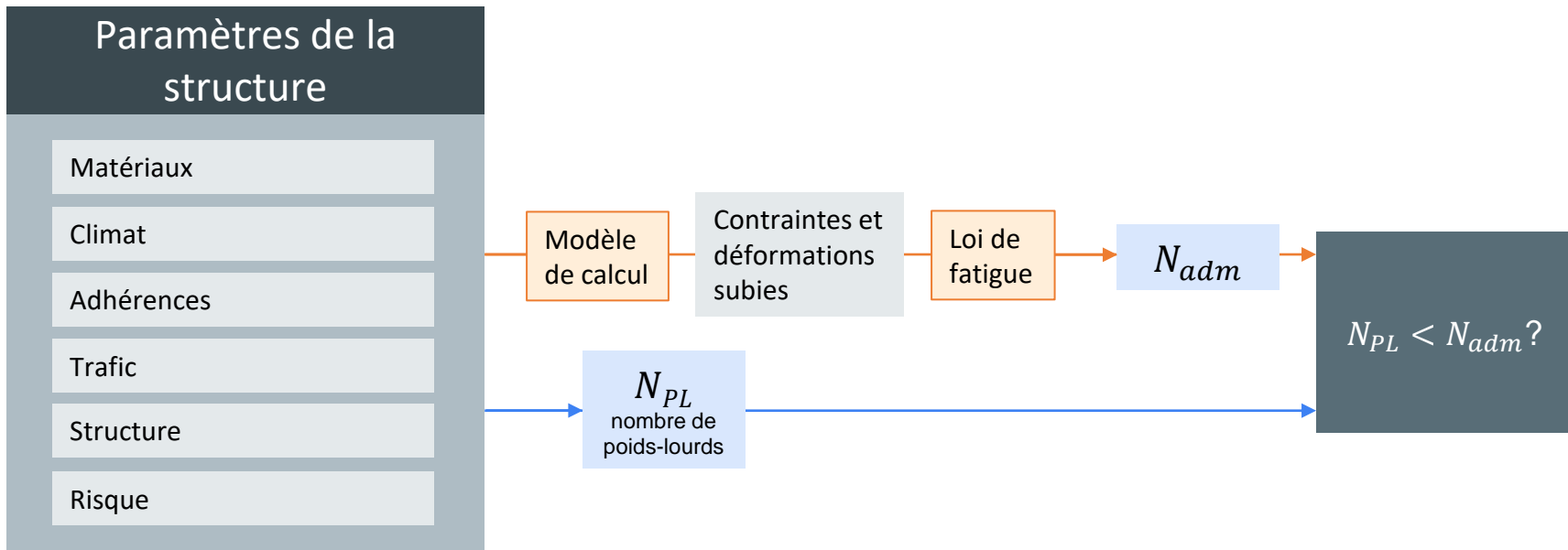
## Dimensionnement selon Qualidim





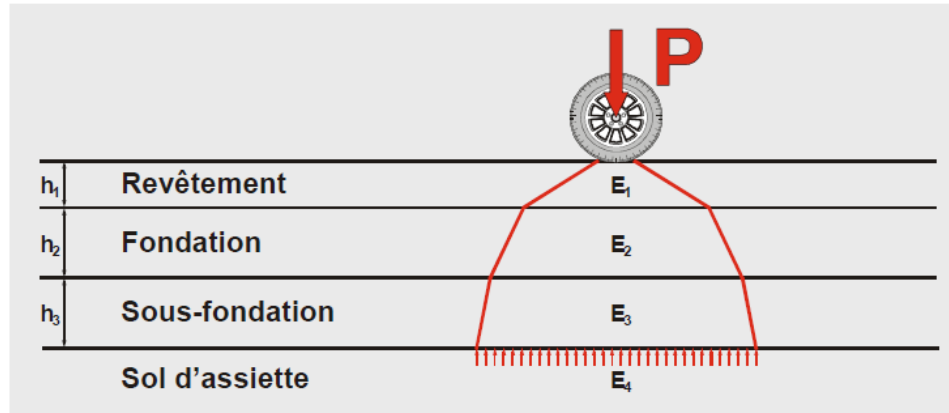


## Dimensionnement selon Qualidim



## 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

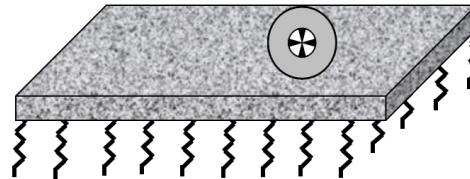
Pour les chaussées rigides, nécessité de prendre en compte les effets de bord

- 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



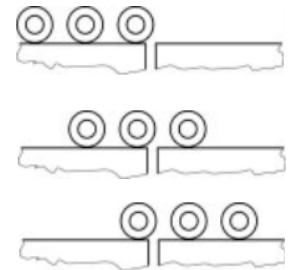
- Possibilité de prendre en compte le cisaillement du sol ➔ Module de Pasternak  $G$



## 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



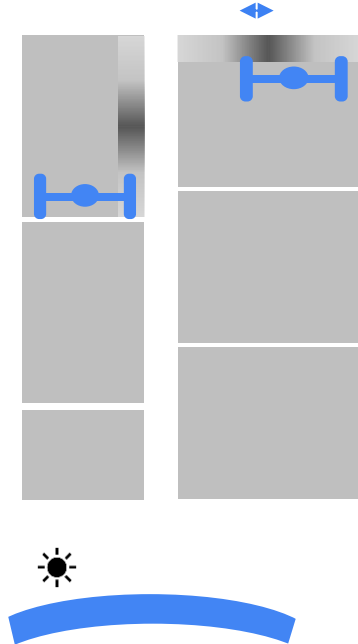
➔ Calcul de la distance minimale entre le pneu et le bord de la dalle

## Modèle de calcul – chaussées rigides



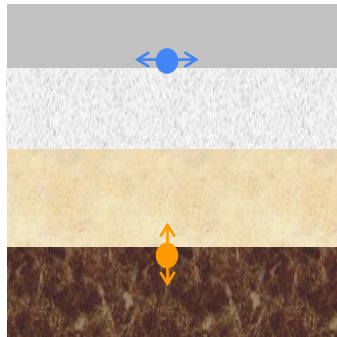
Deux types de contraintes sollicitent le béton:  
les contraintes thermiques et les contraintes mécaniques

- 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

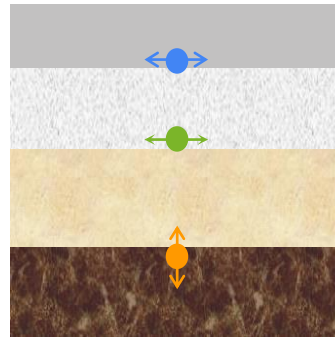
### Souple



Déformation  
horizontale de  
l'enrobé  $\varepsilon_y$

Déformation  
verticale du sol  
 $\varepsilon_z$

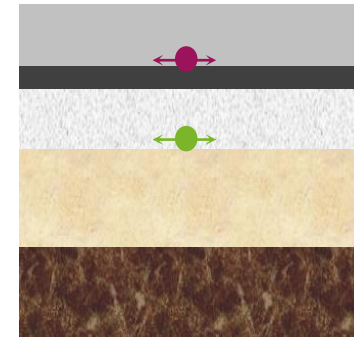
### Semi-rigide



Contrainte  
horizontale à la  
base du béton  $\sigma_y$

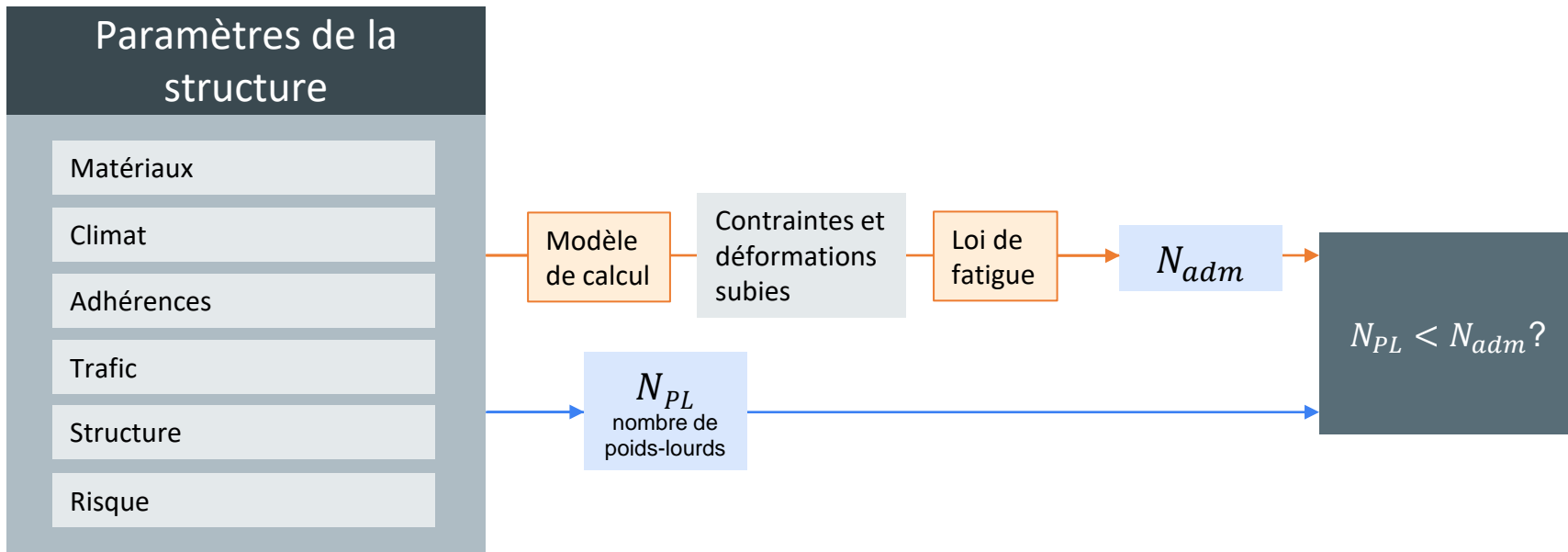
Contrainte  
horizontale à la  
base de la  
fondation liée  $\sigma_y$

### 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

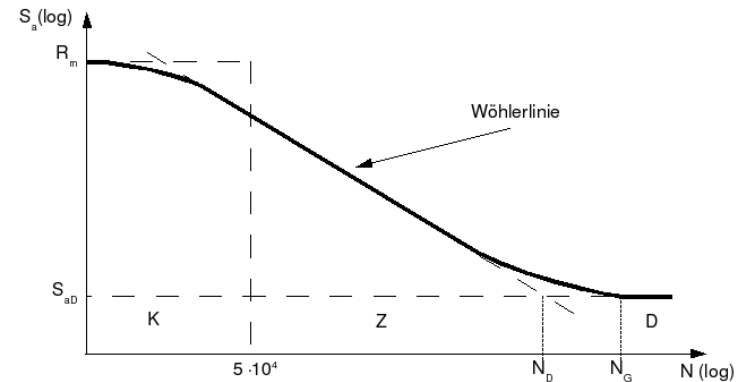
- Les essais de fatigue permettent de déterminer la durée de vie pour chaque niveau de sollicitation
- Loi pour les bétons:

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

$\sigma_{fl}$ : contrainte de flexion ( $N/mm^2$ )

$\sigma_{th}$ : contrainte thermique ( $N/mm^2$ )

$\sigma_{br}$ : contrainte de rupture ( $N/mm^2$ ) = Résistance moyenne à la traction par flexion







## QualiDim: lois de fatigue

- Chaussées souples

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

- Sol et matériaux granulaires:

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

- Fondations liées

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



## 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:

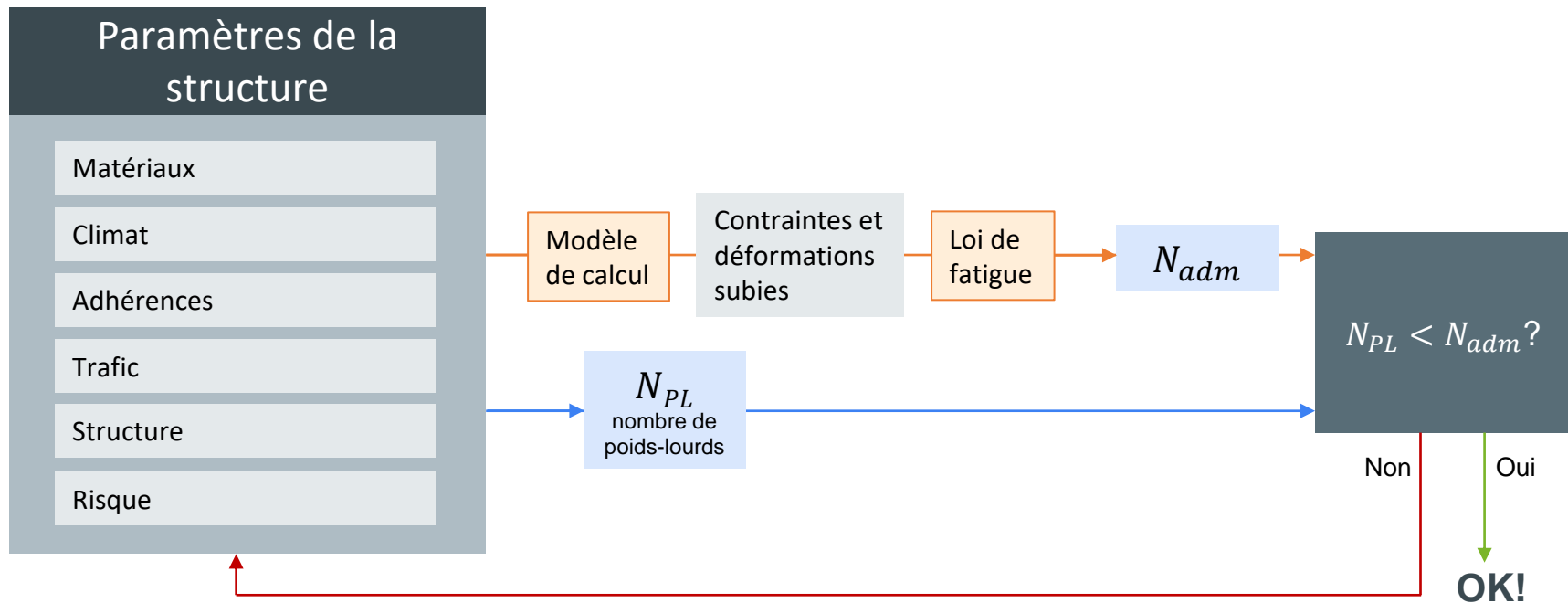
$$\frac{f_1 N}{N_1} + \frac{f_2 N}{N_2} + \dots + \frac{f_n N}{N_n} = 1$$

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



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

LEUVEN • 4-7.04.2022



# 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 <sub>bk</sub> = 10MPa)	15000
1,00	300	Sous-Fondation	Type 2 granulaire continue	200
	Infini	Sol	Sol qualité 'conforme' (M1 ≥ 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/mm<sup>2</sup>)

h(mm) 120

Type de transfert au joint **Joint non goudronnés**

**Enrobé bitumineux** ☒

☐ Module (N/mm<sup>2</sup>) 13000 Par défaut

h(mm) 30

**Fondation liée** ☒

☒ Type Béton maigre (R<sub>bk</sub> = 10MPa)

☐ Module (N/mm<sup>2</sup>)

h(mm) 240

**Fondation non liée** ☐

☒ Type Matériau granulaire Type I

☐ Module (N/mm<sup>2</sup>)

h(mm) 0

**Sous-fondation** ☒

☒ Type Type I

☐ Module (N/mm<sup>2</sup>)

h(mm) 150

**Sol**

☒ Type Argile

☐ C.B.R.

Portance équivalente (N/mm<sup>2</sup>) 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 surlargeur**

Surlargeur (mm) 60

**Facteur dynamique** 1,0

**Coefficient de calage** 1,1

☒ **Prise en compte du gradient thermique**

Modèle de gradients thermiques choisi :

**BAC / l = 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



## 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



**FBEV**  
Fédération Belge des Entrepreneurs de Travaux de Voirie asbl



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

LEUVEN • 4-7.04.2022



## Contact

 Audrey Van der Wielen

 +32.2.766.03.87

 [a.vanderwielen@brrc.be](mailto:a.vanderwielen@brrc.be)

