

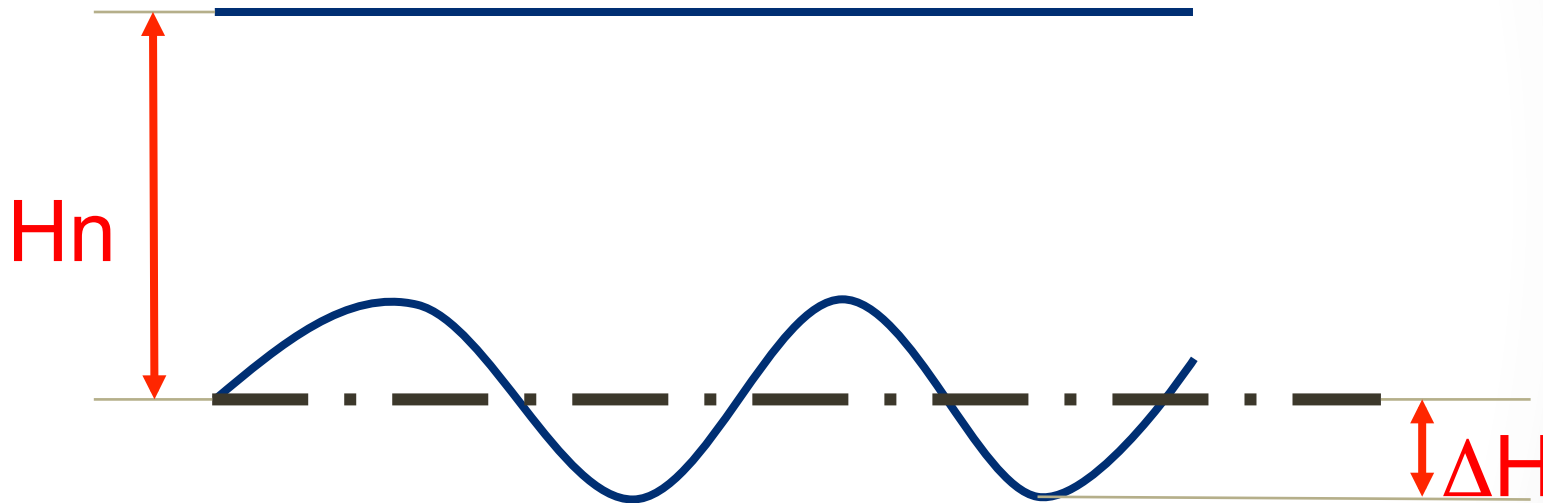
Les variations d'épaisseur dans le dimensionnement des chaussées et leur prise en compte dans ERASMUS

Préambule

- Cet exposé fait suite à une interrogation de Nadège...

Dispersion de l'épaisseur

- Epaisseur de la couche : $H = H_n + \Delta H$



Rappel de l'approche probabiliste du dimensionnement

- $S_{adm} = S$ (Trafic, Température, loi fatigue) $\times K_R$ (risque, variabilité des matériaux) $\times K$ (calage, sol, discontinuités)
- $\epsilon_{adm} = \epsilon (NE, \theta_{eq}, f) k_r k_c k_s k_d$

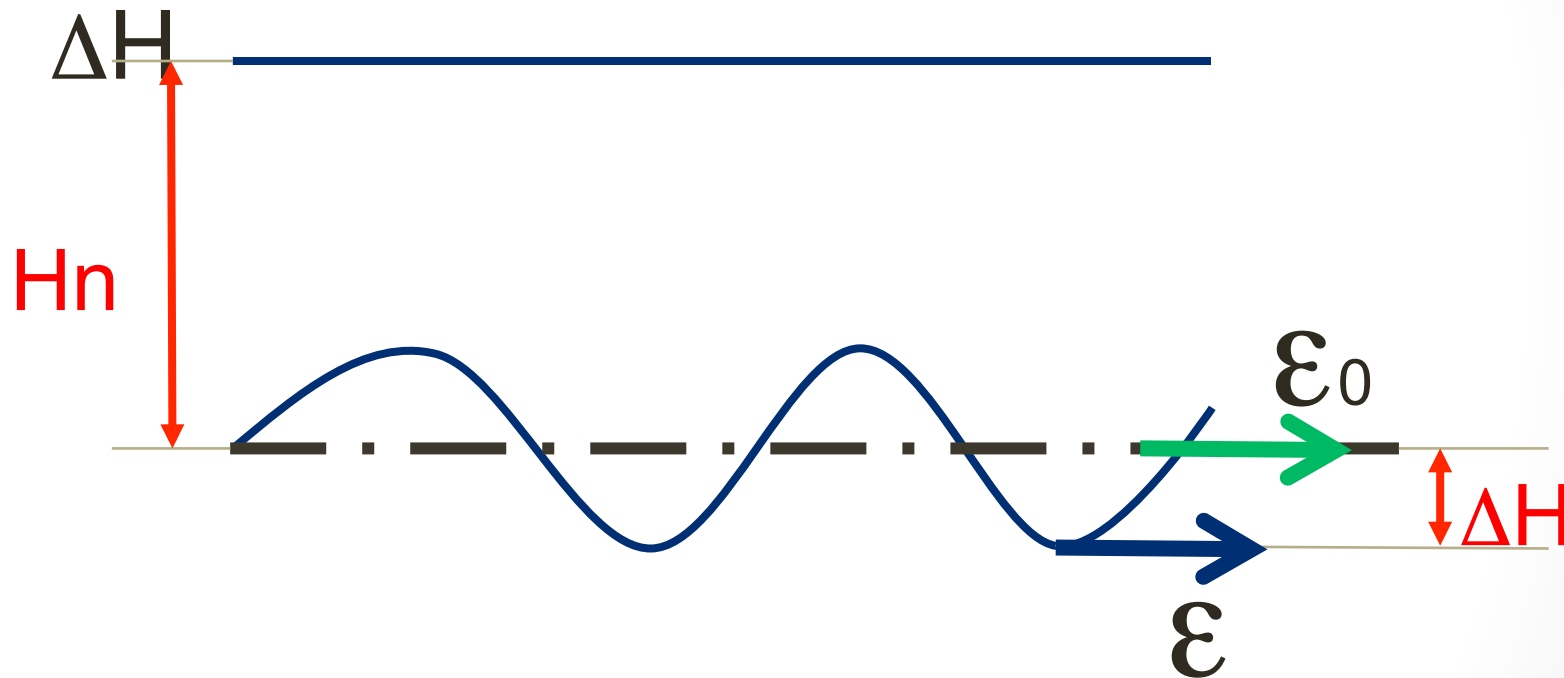
Rappel de l'approche probabiliste du dimensionnement

- Variabilité des matériaux
 - $\delta = (SN^2 + (c^2/b^2) Sh^2)^{0,5}$
- SN écart type essais de fatigue
- Sh écart type épaisseur
- c coefficient
- b pente loi de fatigue
- $K_R = 10^{-ub\delta}$

u : associée
au risque

Relation élongation et épaisseur

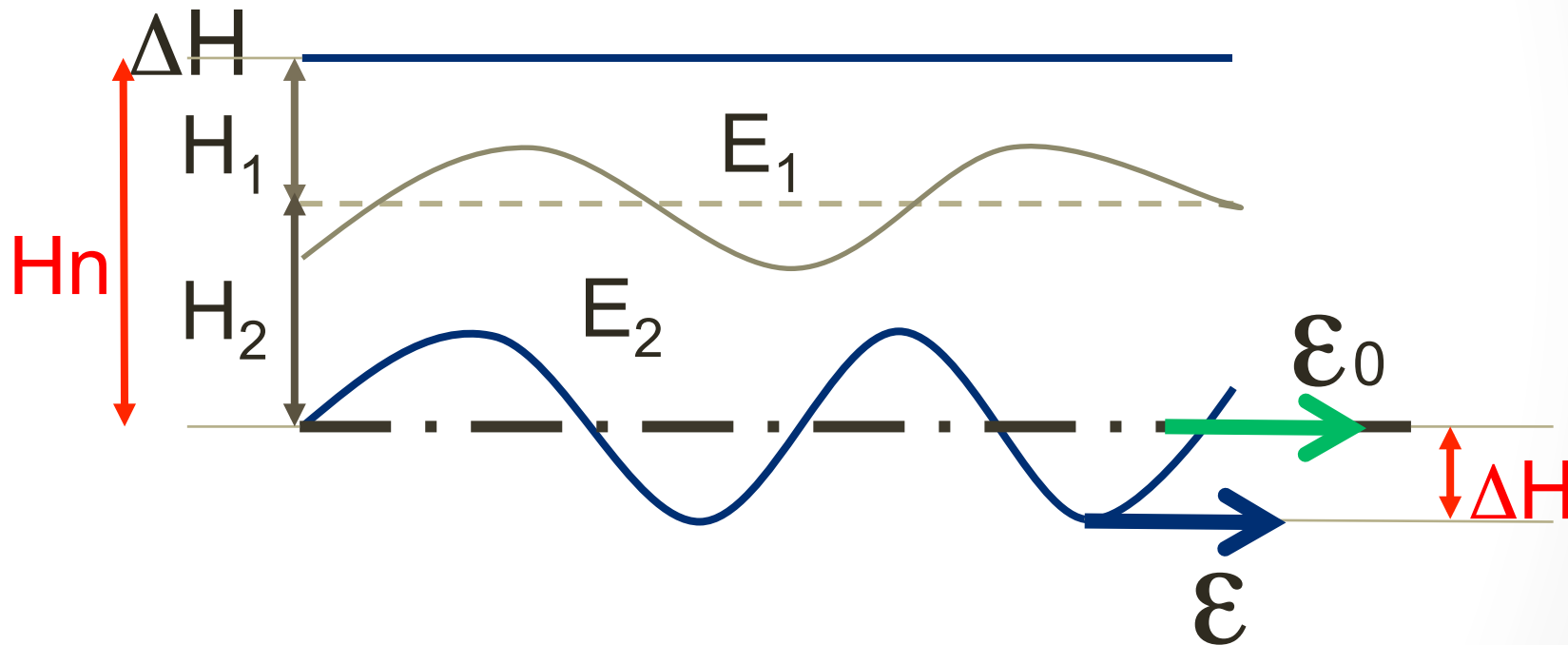
- Epaisseur de la couche : $H = H_n +$



$$\log \epsilon = \log \epsilon_0 - c \Delta H$$

Relation élongation et épaisseur

- Epaisseur de la couche : $H = H_n +$



$$\log \epsilon \sim \log \epsilon_0 - c \Delta H$$

Si E_1 et E_2
voisins

Incidence de Sh sur l'épaisseur de renforcement

- $\epsilon_{adm} = \epsilon (NE, \theta_{eq}, f) k_r k_c k_s k_d$
- $K_r = 10^{-ub\delta}$
 - $\delta = (SN^2 + (c^2/b^2) Sh^2)^{0,5}$
- Si seulement Sh varie (de 1 à 2,5 cm)

$$\bullet \frac{\epsilon_{adm}(Sh=1cm)}{\epsilon_{adm}(Sh=2,5cm)} = \frac{k_r(Sh=1cm)}{k_r(Sh=2,5cm)}$$

Incidence de Sh sur l'épaisseur de renforcement

- $$\frac{\epsilon_{adm}(Sh=1cm)}{\epsilon_{adm}(Sh=2,5cm)} = \frac{k_r(Sh=1cm)}{k_r(Sh=2,5cm)}$$
- Comme
 - $\log(\epsilon_1 / \epsilon_2) / -c = \Delta H$
- $C \text{ retenu} = 0,02 \text{ cm}^{-1}$

Incidence de Sh sur l'épaisseur de renforcement

Sh varie entre 1 et 2,5 cm

risque %	2	5	25
GB3	1,5 cm	1,2 cm	0,5 cm
EME2	1,7 cm	1,4 cm	0,6 cm

Historique sur la dispersion des épaisseurs

Historique sur la dispersion des épaisseurs

Congrès Ann Arbor 1977

- **Design of asphalt overlays for pavements** (J. Bonnot, P. Autret, A. de Boissoudy)
- Première présentation de la méthode française de dimensionnement (elle décrit la méthode appliquée pour les renforcements coordonnés, travaux majeurs de la décennie 70)
- Pour les renforcements GB + BB
 - $Sh = 1 \text{ cm}$ pour les épaisseurs $\leq 10 \text{ cm}$
 - $Sh = 2,5 \text{ cm}$ pour les épaisseurs $\geq 15 \text{ cm}$
- Valeurs obtenues à partir d'une campagne de carottages

Historique sur la dispersion des épaisseurs Congrès Ann Arbor 1982

- **ALIZE III Pratique** (P. Autret, A. de Boissoudy, J.P. Marchand)
- Première présentation du programme ALIZE de la méthode de dimensionnement s'y référant
- Tableau de valeurs de Sh

Material	Thickness range	Sh
Bitumen –bonded aggregate	12 to 20 cm	3 cm
Hydraulic aggregate	15 to 25 cm	3 cm
Hydraulic sand	15 to 25 cm	2,5 cm
Bituminous concrete	6 to 8 cm	1 cm

Historique sur la dispersion des épaisseurs (Note SETRA LCPC Mars 1998)

- **Actualisation du catalogue des structures de 1977 et du guide de dimensionnement des renforcements**
- Pour les matériaux noirs (page 7)
 - $Sh = 1 \text{ cm}$ pour les épaisseurs $\leq 10 \text{ cm}$
 - $Sh = 2,5 \text{ cm}$ pour les épaisseurs $\geq 15 \text{ cm}$
 - Interpolation linéaire entre 10 et 15 cm
- On considérera l'épaisseur totale de GB lorsqu'il y a 2 couches ou l'épaisseur brute de matériau bitumineux lorsqu'on effectue un découpage ultérieur en couche de roulement et couche de base

Historique sur la dispersion des épaisseurs GT CDSC (**1994**) et norme NFP 98-086 (2011, 2019)

- *Matériaux traités aux liants hydrauliques*
 - *Graves* $Sh = 0,03 \text{ m}$
 - *Sables* $Sh = 0,025 \text{ m}$

Historique sur la dispersion des épaisseurs GT CDSC (1994)

- *Matériaux traités aux liants hydrocarbonés*
 - $Sh = 0,01 \text{ m}$ si $h \leq 0,10 \text{ m}$
 - $Sh = 0,025 \text{ m}$ si $h \leq 0,15 \text{ m}$
 - $Sh = 0,01 + 0,3 \times (h - 0,10)$ si $0,10 < h < 0,15 \text{ m}$
 - $Sh = 0,015 \text{ m}$ si plateforme réglée à $\pm 0,015$

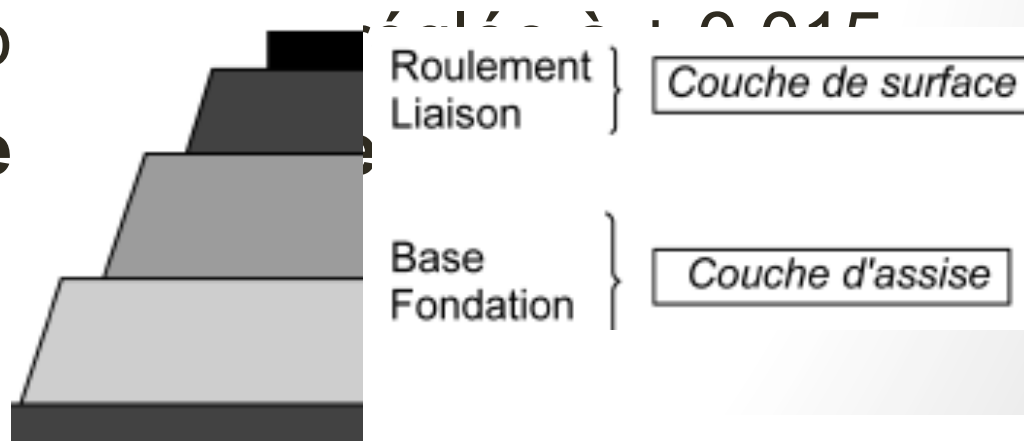
**h est l'épaisseur totale de matériaux bitumineux
(voir VI.2.5.3)**

Historique sur la dispersion des épaisseurs norme NFP 98-086 (2011, 2019)

- *Matériaux traités aux liants hydrocarbonés*

- $Sh = 0,01 \text{ m}$ si $h \leq 0,10 \text{ m}$
- $Sh = 0,025 \text{ m}$ si $h \leq 0,15 \text{ m}$
- $Sh = 0,01 + 0,3 \times (h - 0,10)$ si $0,10 < h < 0,15 \text{ m}$

• $Sh = 0,015 \text{ m}$ si p
 **h est l'épaisseur de
et EME_j)**



Norme traitant des dispersions d'épaisseurs

NF P 98-150-1

Enrobés hydrocarbonés

**Exécution des assises de chaussées,
couches de liaison et couches
de roulement**

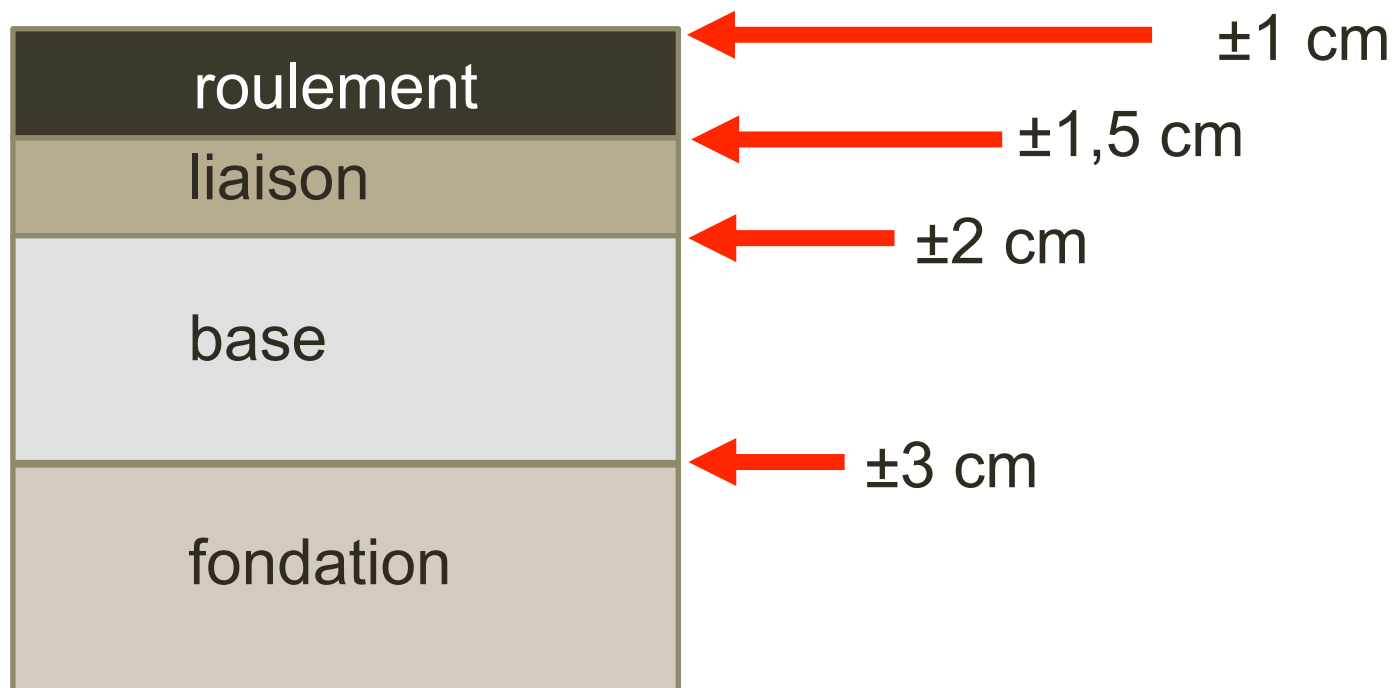
Partie 1 : Enrobés hydrocarbonés à chaud —
constituants, formulation, fabrication, transport,
mise en œuvre et contrôle sur chantier

12.4.3.2 Contrôles d'épaisseur par mesures de nivellement

Tableau 9 — Tolérances sur le contrôle des épaisseurs en fonction de la couche de la chaussée

Tolérances d'épaisseur dans les profils de référence [2]	Tous chantiers dont le support respecte les tolérances en nivellement de 12.4.4	Grands chantiers neufs et renforcement ou entretien support de bon uni avant ou après reprofilage. Aires de stationnement et voies de circulation aéronautiques
Couche de :		
— fondation	± 4	± 3
— base	± 3	± 2
— liaison	$\pm 2,5$	$\pm 1,5$
— roulement	$\pm 1,5$	± 1

Norme NFP 98-150-1



Que retenir sur la dispersion des épaisseurs des couches bitumineuses ?

- La relation entre dispersion et épaisseur est fondée sur une campagne de carottages réalisée lors des renforcements coordonnés des années 70.
- Les différents documents jusqu'en 1994 retiennent l'épaisseur totale de matériaux bitumineux.
- Actuellement la référence étant la « norme » s'y référer me semble normal (épaisseur assise)
- Mais rien n'empêche de réfléchir...

Que retenir sur la dispersion des épaisseurs des couches bitumineuses ?

Actuellement le traitement des signaux APL et l'application du guide technique :

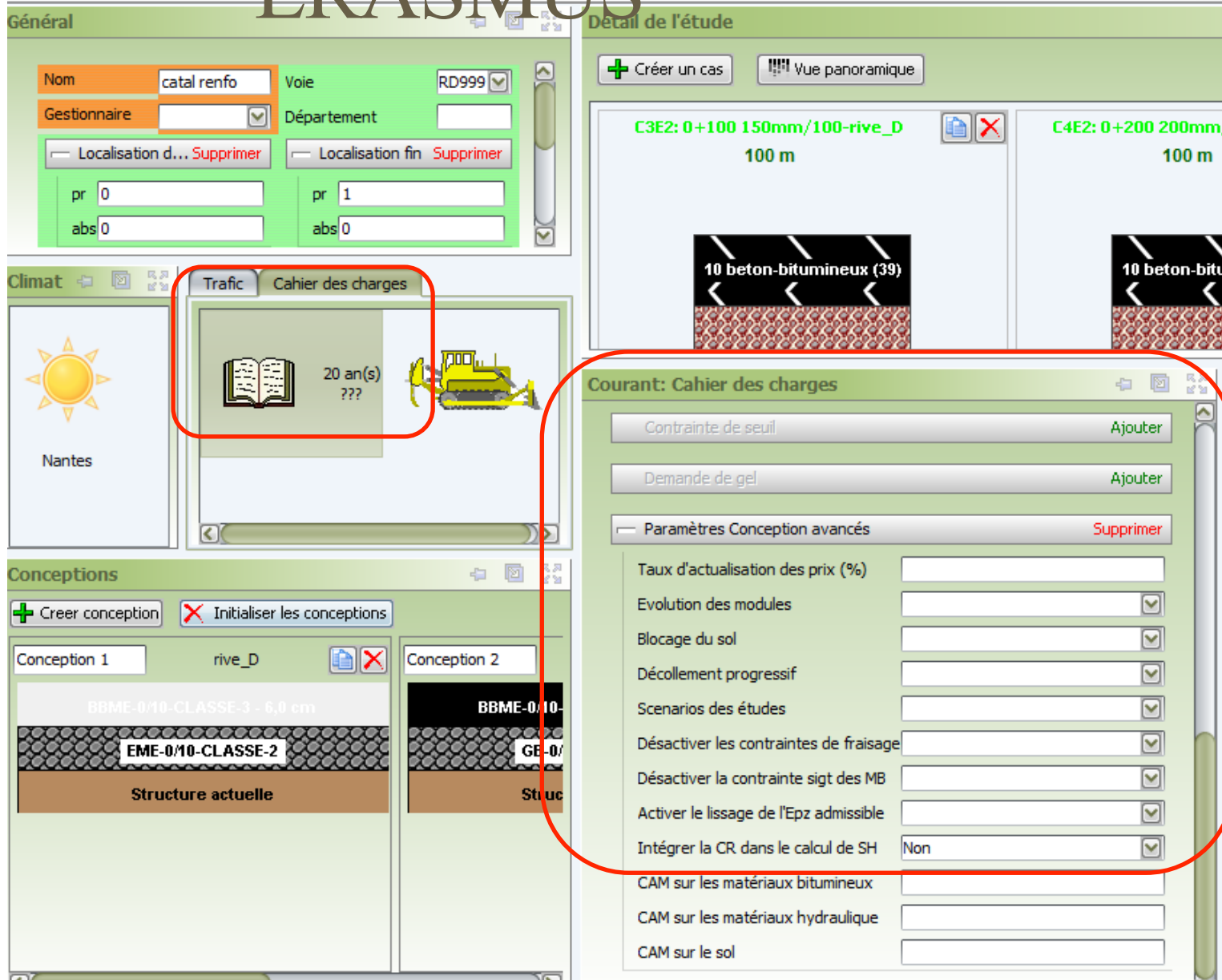
- Uni longitudinal, Etat de l'art et recommandations

devraient permettre de préciser la valeur de Sh à retenir (étude à envisager ?)

Prise en compte de Sh dans ERASMUS

- Par défaut : Sh retient la norme
NF P 98-086
- Mais : Possibilité de prendre en
compte l'épaisseur totale de « noir » de
conception

Prise en compte de Sh dans ERASMUS



Général

Nom: catal renfo Voie: RD999

Gestionnaire: Département:

Localisation d... Supprimer Localisation fin Supprimer

pr 0 pr 1

abs 0 abs 0

Détail de l'étude

+ Créer un cas Vue panoramique

C3E2: 0+100 150mm/100-rive_D 100 m

C4E2: 0+200 200mm/100-rive_D 100 m

10 beton-bitumineux (39)

10 beton-bitumineux (39)

Climat

Nantes

Trafic Cahier des charges

20 an(s) ???

Conceptions

+ Créer conception Initialiser les conceptions

Conception 1 rive_D

BBME-0/10-CLASSE-3 - 6,0 cm

EME-0/10-CLASSE-2

Structure actuelle

Conception 2

BBME-0/10-CLASSE-3 - 6,0 cm

GE-0/10-CLASSE-2

Structure actuelle

Courant: Cahier des charges

Contrainte de seuil Ajouter

Demande de gel Ajouter

Paramètres Conception avancés Supprimer

Taux d'actualisation des prix (%)

Evolution des modules

Blocage du sol

Décollement progressif

Scenarios des études

Désactiver les contraintes de fraisage

Désactiver la contrainte sigt des MB

Activer le lissage de l'Epz admissible

Intégrer la CR dans le calcul de SH Non

CAM sur les matériaux bitumineux

CAM sur les matériaux hydraulique

CAM sur le sol

Prise en compte de Sh dans ERASMUS

Paramètres Conception avancés Supprimer

Taux d'actualisation des prix (%)	<input type="text"/>
Evolution des modules	<input type="text"/> ▼
Blocage du sol	<input type="text"/> ▼
Décollement progressif	<input type="text"/> ▼
Scenarios des études	<input type="text"/> ▼
Désactiver les contraintes de fraisage	<input type="text"/> ▼
Désactiver la contrainte sigt des MB	<input type="text"/> ▼
Activer le lissage de l'Epz admissible	<input type="text"/> ▼
Intégrer la CR dans le calcul de SH	Non ▼

Intégrer la CR dans le calcul de SH ▼

Prise en compte de Sh dans ERASMUS

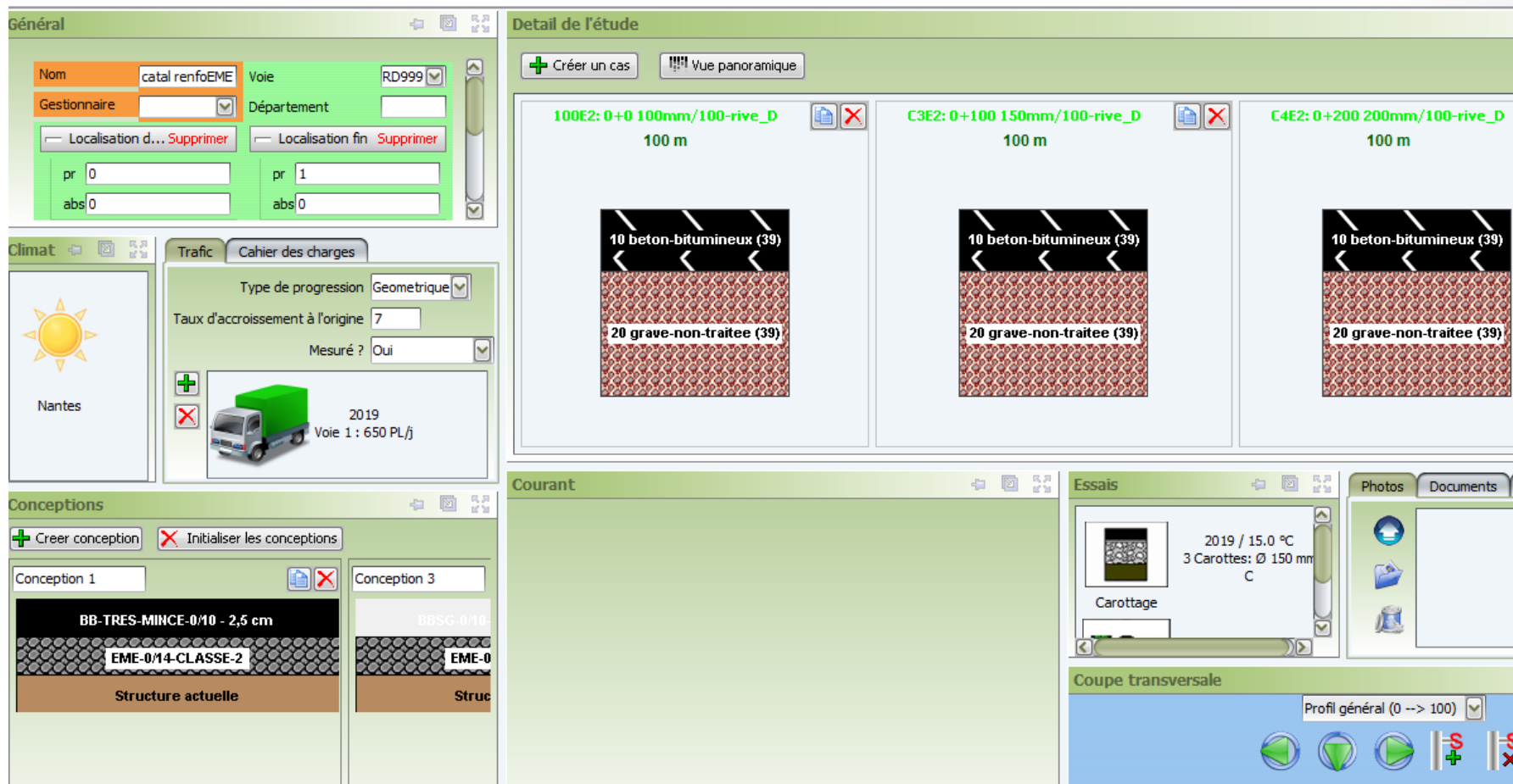
Application

Hypothèses retenues

- Renforcements en EME2
- MJA PL : 650
- Durée : 20 ans, croissance : 7%
- CAM : 0,8 pour EME2, 1 pour le sol
- Risque : 2%
- Structure à renforcer :
 - 10 enrobé
 - 20 GNT
- Déflexions en 1/100 mm : 100 ; 150 ; 200

Prise en compte de Sh dans ERASMUS

Application



The screenshot displays the ERASMUS application interface, which is divided into several functional modules:

- Général:** Contains fields for project information such as 'Nom' (catal renfoEME), 'Voie' (RD999), 'Gestionnaire', and 'Département'. It also includes buttons for 'Localisation d...', 'Localisation fin', and 'Supprimer', along with input fields for 'pr' and 'abs'.
- Climat:** Features a sun icon and the location 'Nantes'.
- Trafic:** Includes a 'Cahier des charges' section with 'Type de progression' (Geometrique), 'Taux d'accroissement à l'origine' (7), and 'Mesuré ?' (Oui). It also shows a truck icon and '2019 Voie 1 : 650 PL/j'.
- Conceptions:** Allows for creating and initializing conceptions. It shows 'Conception 1' with 'BB-TRES-MINCE-0/10 - 2,5 cm' and 'EME-0/14-CLASSE-2', and 'Conception 3' with 'BBSG-0/10' and 'EME-0'.
- Detail de l'étude:** Displays three detailed views of road sections: '100E2: 0+0 100mm/100-rive_D', 'C3E2: 0+100 150mm/100-rive_D', and 'C4E2: 0+200 200mm/100-rive_D'. Each view shows a cross-section with '10 beton-bitumineux (39)' and '20 grave-non-traitee (39)'.
- Courant:** A section for current data or status.
- Essais:** Includes a 'Carottage' (core sample) section with '2019 / 15.0 °C' and '3 Carottes: Ø 150 mm C'. It also features a 'Coupe transversale' (transverse section) with a 'Profil général (0 --> 100)'.

Prise en compte de Sh dans ERASMUS Application

Courant: Cahier des charges

Examen du gel en diagnostic	Non
Durée de vie (ans)	0 <= 20
Epaisseur min à fraiser (cm)	5
Risque de dimensionnement (%)	1 <= 2

Paramètres Conception avancés

Intégrer la CR dans le calcul de SH Non

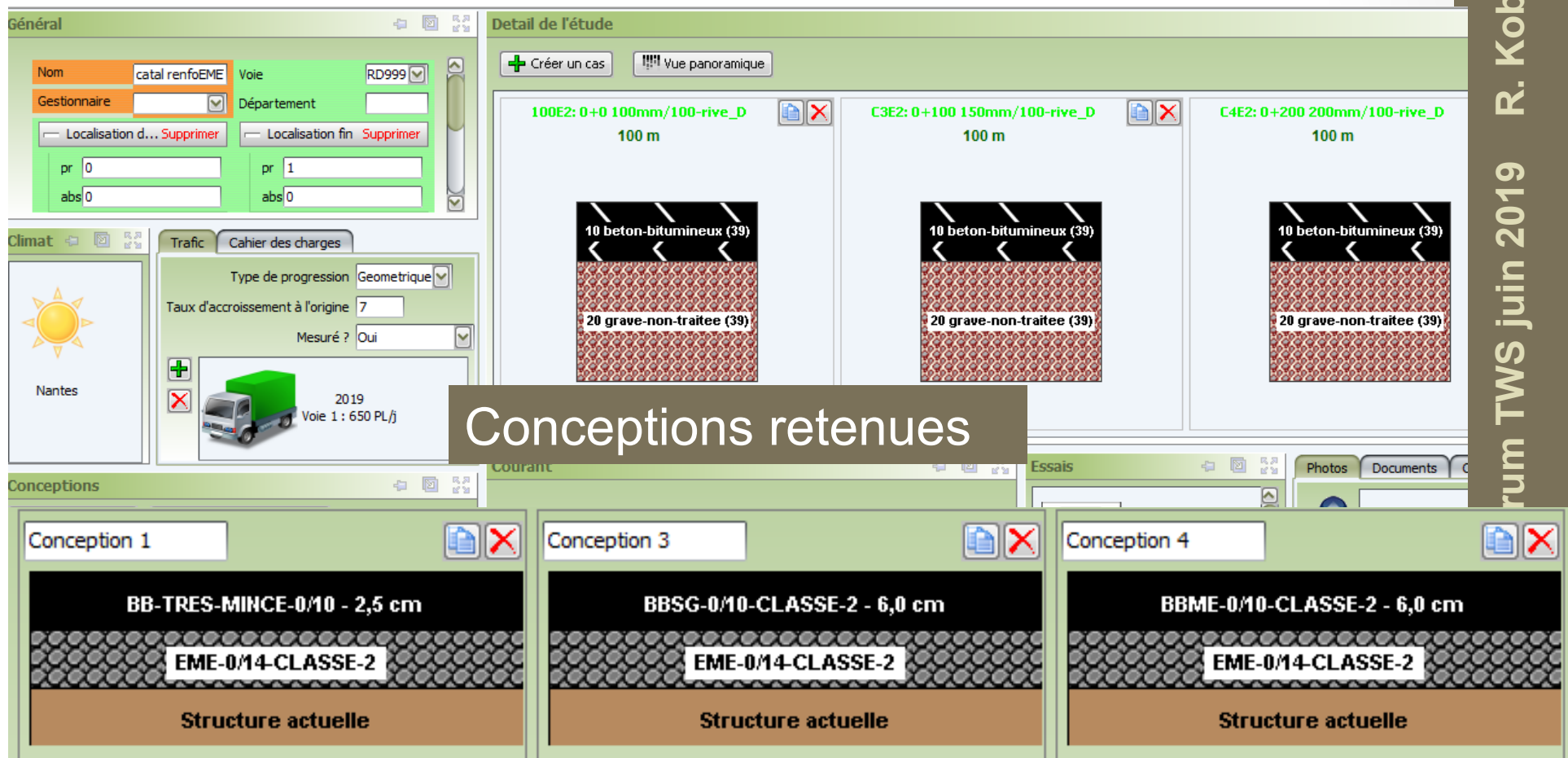
CAM sur les matériaux bitumineux 0.8

CAM sur les matériaux hydraulique

et oui

Prise en compte de Sh dans ERASMUS

Application






The screenshot displays the ERASMUS application interface, which is divided into several panels:

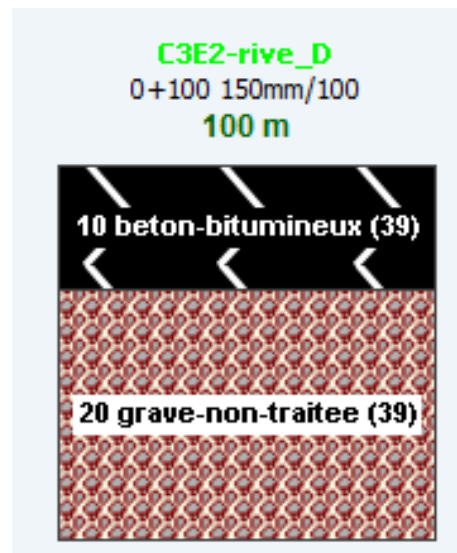
- Général**: Contains fields for project information such as Nom (catal renfoEME), Voie (RD999), Gestionnaire, Département, Localisation d... (Supprimer), Localisation fin (Supprimer), pr (0), abs (0), pr (1), and abs (0).
- Climat**: Features a sun icon and the location Nantes.
- Trafic**: Includes a truck icon, Type de progression (Geometrique), Taux d'accroissement à l'origine (7), Mesuré ? (Oui), and a date/voie entry (2019, Voie 1 : 650 PL/j).
- Détail de l'étude**: Shows three cross-sections of road structures:
 - 100E2: 0+0 100mm/100-rive_D 100 m**
 - C3E2: 0+100 150mm/100-rive_D 100 m**
 - C4E2: 0+200 200mm/100-rive_D 100 m**
 Each cross-section shows a top layer of 10 beton-bitumineux (39) and a bottom layer of 20 grave-non-traitee (39).
- Conceptions**: Displays three proposed road structures:
 - Conception 1**: BB-TRES-MINCE-0/10 - 2,5 cm; EME-0/14-CLASSE-2; Structure actuelle.
 - Conception 3**: BBSG-0/10-CLASSE-2 - 6,0 cm; EME-0/14-CLASSE-2; Structure actuelle.
 - Conception 4**: BBME-0/10-CLASSE-2 - 6,0 cm; EME-0/14-CLASSE-2; Structure actuelle.

A semi-transparent box with the text "Conceptions retenues" is overlaid on the center of the image.

Prise en compte de Sh dans ERASMUS

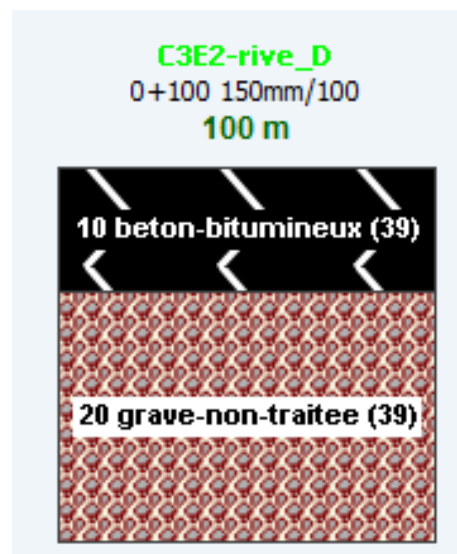
Application Résultats pour 100/100 mm sans intégration de la CR dans Sh

Résultats de conception	Modèle mécan...	Durée de vie réelle	Critères dimensionnants
2019 : BB très mince 0/10 (N) (2.5 cm) Liant d'accrochage 2019 : EME-0/14-CLASSE-2 (N) (13.0 cm) Liant d'accrochage		21 ans - eme-0/14-C2 ...	Fatigue de eme-0/14-C2 D= 0.88
2019 : BBSG-0/10-CLASSE-2 (N) (6.0 cm) Liant d'accrochage 2019 : EME-0/14-CLASSE-2 (N) (8.0 cm) Liant d'accrochage		21 ans - eme-0/14-C2 ...	Fatigue de eme-0/14-C2 D= 0.88
2019 : BBME-0/10-CLASSE-2 (N) (6.0 cm) Liant d'accrochage 2019 : EME-0/14-CLASSE-2 (N) (8.0 cm) Liant d'accrochage		22 ans - eme-0/14-C2 ...	Fatigue de eme-0/14-C2 D= 0.82



Def :
 100/100mm

	Sh sans CR intégrée	Sh avec CR intégrée	
BBTM	2,5 cm	2,5 cm	+ 1 cm
EME2	13 cm	14 cm	
BBSG	6 cm	6 cm	+ 2 cm
EME2	8 cm	10 cm	
BBME	6 cm	6 cm	+ 1 cm
EME2	8 cm	9 cm	

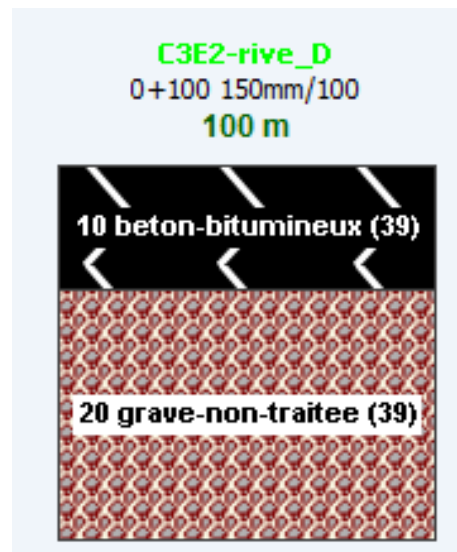


Def :
150/100mm

Application de la loi
de dispersion sur ϵ_z

	Sh sans CR intégrée	Sh avec CR intégrée
BBTM	2,5 cm	2,5 cm
EME2	16 cm	16 cm
BBSG	6 cm	6 cm
EME2	15 cm (H0=10 cm)	12 cm
BBME	6 cm	6 cm
EME2	10 cm	12 cm

+ 2 cm



Def :
200/100mm

	Sh sans CR intégrée	Sh avec CR intégrée
BBTM EME2	2,5 cm 17 cm	2,5 cm 17 cm
BBSG EME2	6 cm 13 cm	6 cm 14 cm
BBME EME2	6 cm 12 cm	6 cm 13 cm

+ 1 cm

+ 1 cm

Conclusions

La prise en compte du Sh :

- pour des renforcements en « noir » entre 10 et 15 cm fait varier les conceptions de 1 à 2 cm pour les risques faibles.
- uniquement sur les matériaux d'assise GBi et EMEj favorise l'emploi des matériaux de couche de liaison BBME et BBSG

Conclusions

- ***Voies de progrès :***
 - réexaminer cette notion de couche,
 - approfondir l'apport de l'uni avant travaux,
 - calculer le coefficient « c »

Conclusions

ERASMUS offre la possibilité d'appliquer le Sh :

- sur l'épaisseur de la couche d'assise
- ou sur l'épaisseur totale de matériaux bitumineux de renforcement

Riopelle
(1923/2002)

**Merci de votre
attention**