

LA GENÈSE DE LA MÉTHODE FRANÇAISE

DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES – PLACE DU MANÈGE

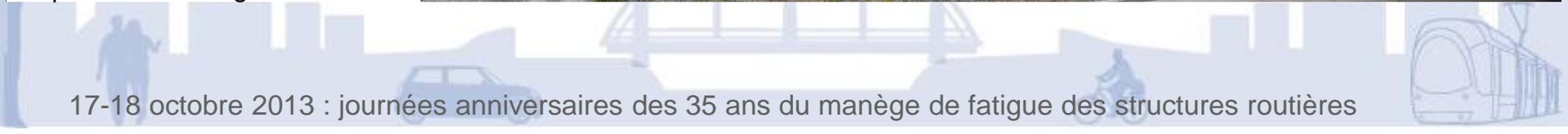
Rolf Kobisch

1978-2013

Un parcours d'expériences inédites



<http://35ans-manege.ifsttar.fr>



LA GENÈSE DE LA MÉTHODE FRANÇAISE DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES – PLACE DU MANÈGE

- **Méthode retenue pour le catalogue des structures de 1971**
- **Méthode de dimensionnement rationnelle des chaussées neuves et des renforcements depuis 1972**
- **Le manège de fatigue : objectif et apport dans le dimensionnement des chaussées**

LA GENÈSE DE LA MÉTHODE FRANÇAISE DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES – PLACE DU MANÈGE

- **Méthode retenue pour le catalogue des structures de 1971**
- **Méthode de dimensionnement rationnelle des chaussées neuves et des renforcements depuis 1972**
- **Le manège de fatigue : objectif et apport dans le dimensionnement des chaussées**

Méthode retenue pour le catalogue des structures de 1971

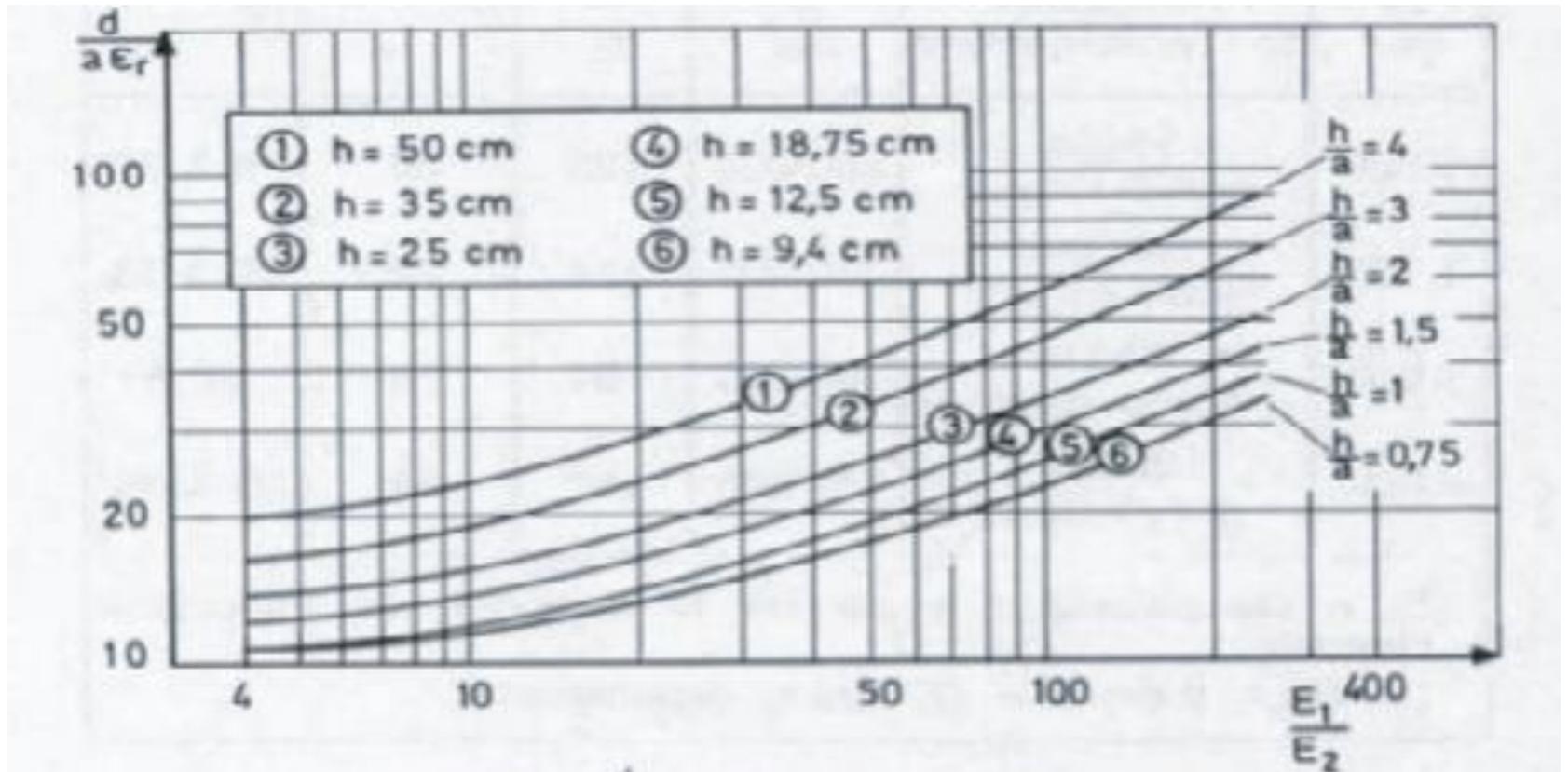
Rappel

- J. Bonitzer, après Ann Arbor en 1967, définit la voie d'approche rationnelle du dimensionnement des chaussées :

« *L'idée directrice de cette voie d'approche est calquée sur celle des ouvrages d'art : **on calculera les contraintes et les déformations sous charges, on comparera ces grandeurs à celles que les matériaux employés peuvent supporter sans rupture** ; on calculera dans chaque cas la structure de manière qu'elle puisse supporter les charges prévues. »*

- De 1965 à 1971 importantes innovations au niveau de l'auscultation des chaussées :
 - ✓ Mesure au vibreur léger
 - Vitesses de Rayleigh \Rightarrow rigidité
 - ✓ Développement des mesures de déflexions
 - Apparition du déflectographe
 - Exploitation des déformées mesurées à la poutre Benkelman : déflexions maxi, rémanentes, rayon de courbure
 - Travaux théoriques sur les relations [déflexion - élongation]

Rapport déflexion / élongation à la base d'un bicouche en fonction du rapport des modules pour diverses épaisseurs



Rapport $\frac{d}{a\epsilon_r}$ pour un jumelage type

$a = 12,5$ cm $q = 6,5$ bars

$\nu_1 = \nu_2 = 0,25$

➤ Etablissement de relations entre le comportement des structures et les paramètres mesurés

- ✓ Déflexions limites pour les structures neuves en fonction du trafic

	Classe de trafic			
Structure	T1	T2	T3	T4
GH	20 à 30	30 à 40	40 à 50	50 à 60
GB	50	80	120	150

- ✓ Produit $R.d > 15000 \times 10^{-5}$ m pour les structures **GH**

- **De 1965 à 1971 : importantes innovations au niveau de la caractérisation des matériaux**
 - ✓ Contraintes et élongations de rupture des matériaux hydrauliques
 - ✓ Essais de fatigue sur les enrobés
 - ✓ Classification des sols support
 - définition de classes S_i , fonction de la granulométrie et de la limite d'Atterberg
 - établissement de 4 plages de modules pour ces classes de sols

Dimensionnement

Application de la formule empirique de la loi de réduction logarithmique des déflexions

$$e = K \log \frac{d_0 - d_m}{d_1 - d_m}$$

e : épaisseur de la couche d'assise en cm

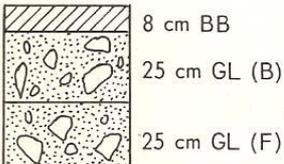
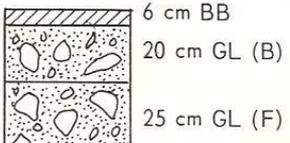
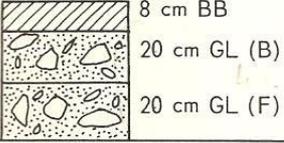
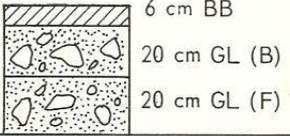
d_0 déflexion sur le sol support

d_1 déflexion limite en fonction du trafic

K et d_m constantes dépendant du matériau

Exemple : structure T1 S1 en grave laitier

Chaussée du type 1 CC
CC

	T ₁	T ₂	
	G	G	
S1			
S2			
	G	G	

$$26 \log \frac{1000 - 10}{20 - 10} = 52 \text{ cm}$$

LA GENÈSE DE LA MÉTHODE FRANÇAISE DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES – PLACE DU MANÈGE

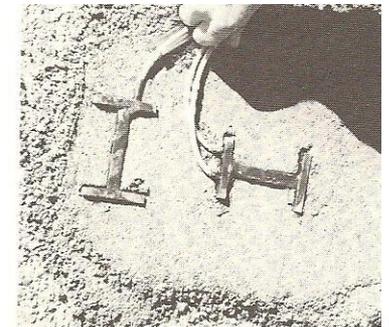
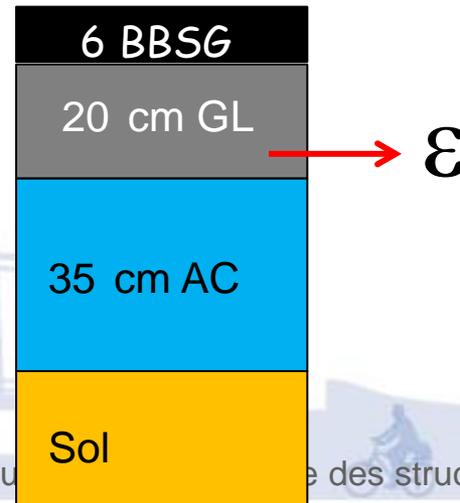
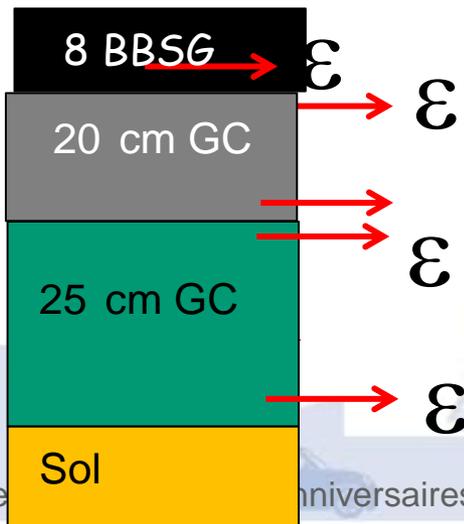
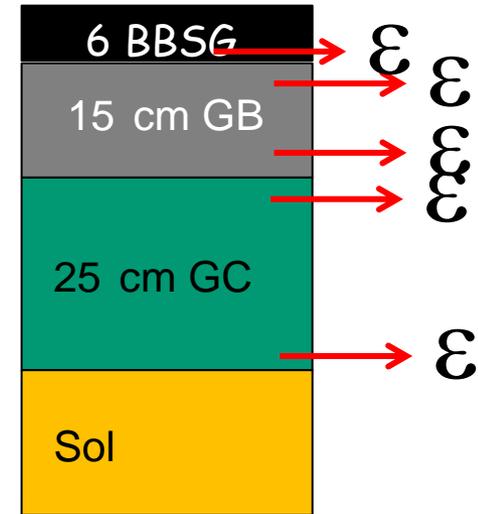
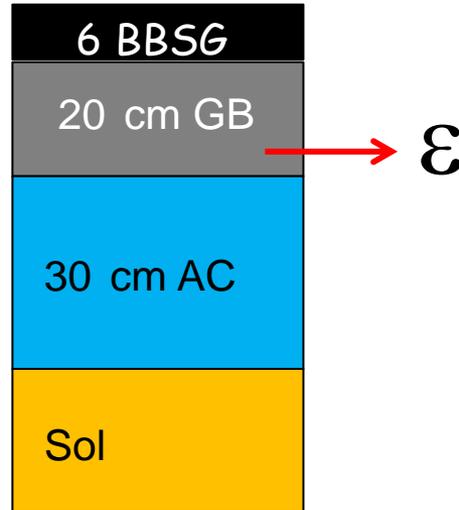
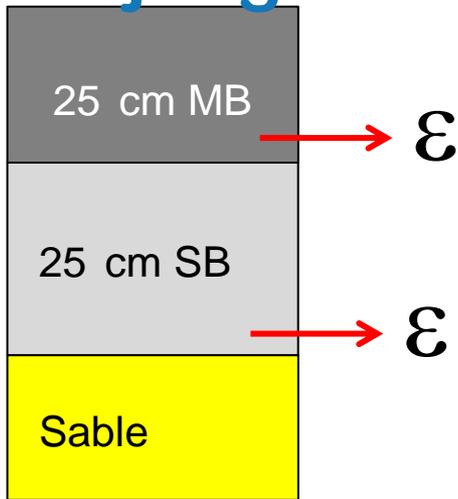
- **Méthode retenue pour le catalogue des structures de 1971**
- **Méthode de dimensionnement rationnelle des chaussées neuves et des renforcements depuis 1972**
- **Le manège de fatigue : objectif et apport dans le dimensionnement des chaussées**

Méthode de dimensionnement rationnelle des chaussées neuves et des renforcements depuis 1972

Mise en œuvre de l'approche de J. Bonitzer

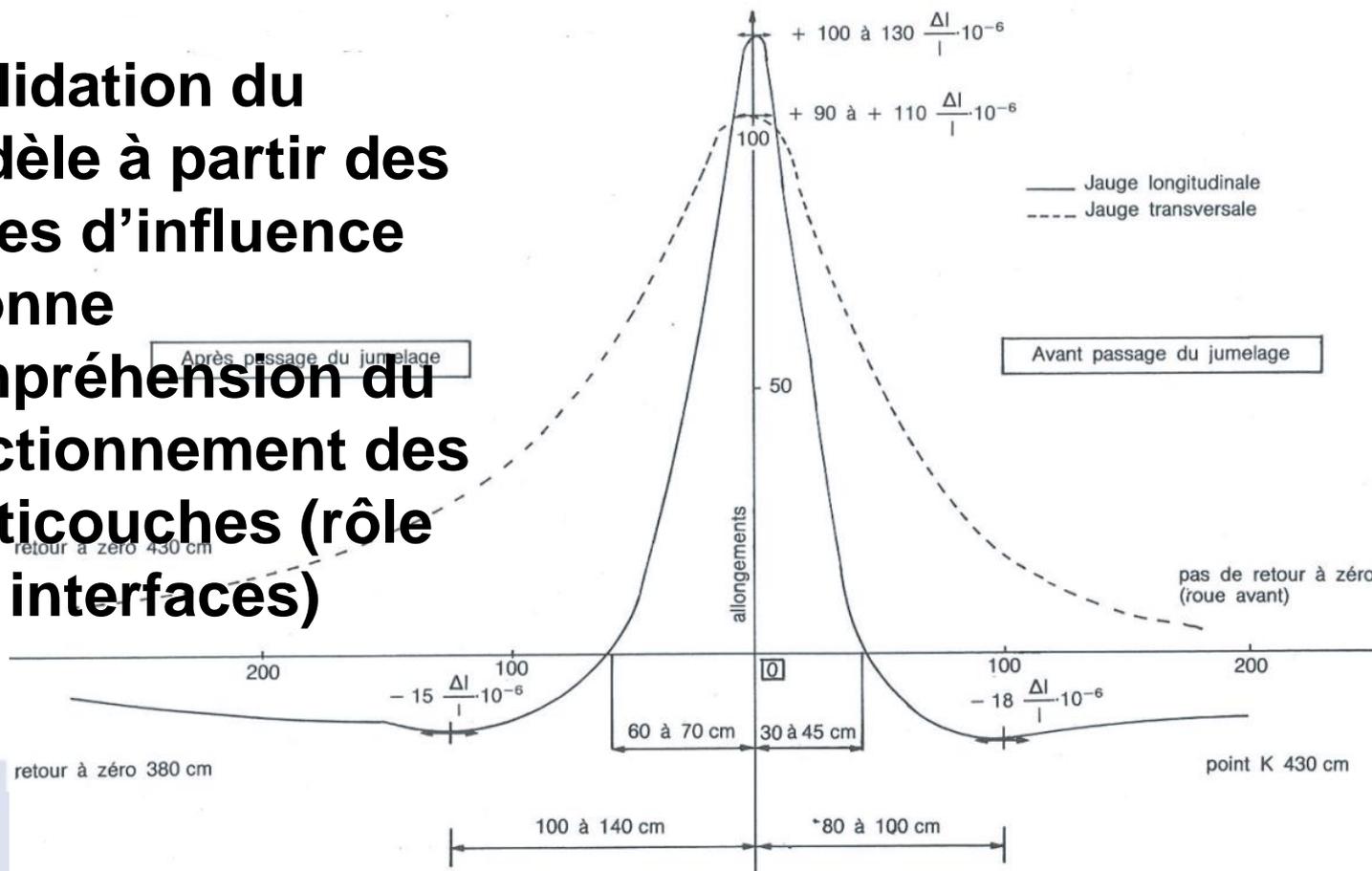
- Caractérisations mécaniques monotones et cycliques des matériaux
- Développement du modèle de calcul ALIZE semi-analytique par la SEMA
- Comparaison entre les sollicitations calculées dans les matériaux et celles jugées admissibles (études labo et *in situ*)
- Application du postulat d'additivité de Miner
- Obtention des données de calage entre le modèle et la réalité

Instrumentation de structures à l'aide de jauges



Exemple des formes de signaux à l'interface d'un renforcement en GL

- Validation du modèle à partir des lignes d'influence
- Bonne compréhension du fonctionnement des multicouches (rôle des interfaces)



Sections d'essais : Objectifs

- Evaluer sur la durée les diverses techniques en fonction des paramètres :
 - Déflexions, rayon de courbure,
 - Dégradations, profils en long et en travers
 - Vitesses de Rayleigh
 - Sondages, carottages

- Confronter les observations *in situ* aux prévisions théoriques

- **30 sections renforcées ; 9 sections neuves**

Enseignements des sections en 1974

- Notation de chaque section en fonction de sa « durée de vie » à partir :
 - de la modélisation selon le modèle ALIZE
 - de l'expertise fondée sur les données *in situ*

Classes de jugement des sections	
Durée estimée	Note
0 à 3 ans	0
4 à 7 ans	1
8 à 15 ans	2
+ de 15 ans	3

Ex. Renf. GL

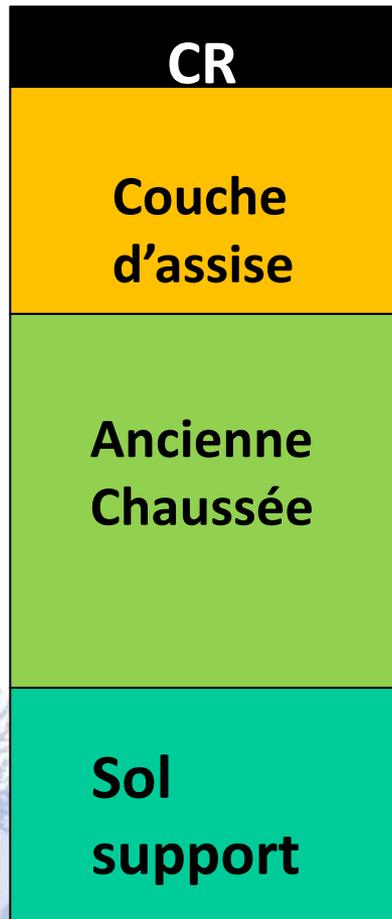
Nom	Classement		Différence
	Théo.	Exp.	
RN 43	3	2	1
RN 2	1,5	1,5	0
RN 7	0,5	1	-0,5

Résultats de la confrontation des notes

- très voisines pour les renforcements en enrobés et en grave laitier
 - optimistes pour les renforcements en grave bitume (théo. > exp.)
 - globalement acceptables pour les structures neuves
 - dans 50 % des cas moins d'une classe d'écart
- **Les résultats montrent le bien fondé de la méthode rationnelle**

Méthode de dimensionnement rationnelle des chaussées neuves et des renforcements depuis 1972

Méthode de dimensionnement des renforcements en 1976 : Critères



Tenue « assurée » par des directives pour la CR

Tenue en fatigue de la couche d'assise

Tenue en fatigue du sol support

Méthode de dimensionnement des renforcements en 1976

➤ Adoption de la méthode rationnelle

- ✓ Caractérisation mécanique des matériaux : E , ν , ϵ_6 , b
- ✓ Postulat d'additivité de Miner :
 - température équivalente
 - CAM
- ✓ Dispersions : Sh , SN
- ✓ Risque et durée fct (T_i et Matériaux)

Méthode de dimensionnement rationnelle des chaussées neuves et des renforcements depuis 1972

Après une décennie :

- ✓ *de caractérisations mécaniques des matériaux en laboratoire*
- ✓ *d'auscultation et de modélisation des chaussées*
- *Définition de caractéristiques types pour les différents matériaux*
- *Introduction de coefficients de calage fonction des matériaux*

Application de la méthode rationnelle de dimensionnement avec ces données pour le catalogue 1977

LA GENÈSE DE LA MÉTHODE FRANÇAISE DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES – PLACE DU MANÈGE

- **Méthode retenue pour le catalogue des structures de 1971**
- **Méthode de dimensionnement rationnelle des chaussées neuves et des renforcements depuis 1972**
- **Le manège de fatigue : objectif et apport dans le dimensionnement des chaussées**

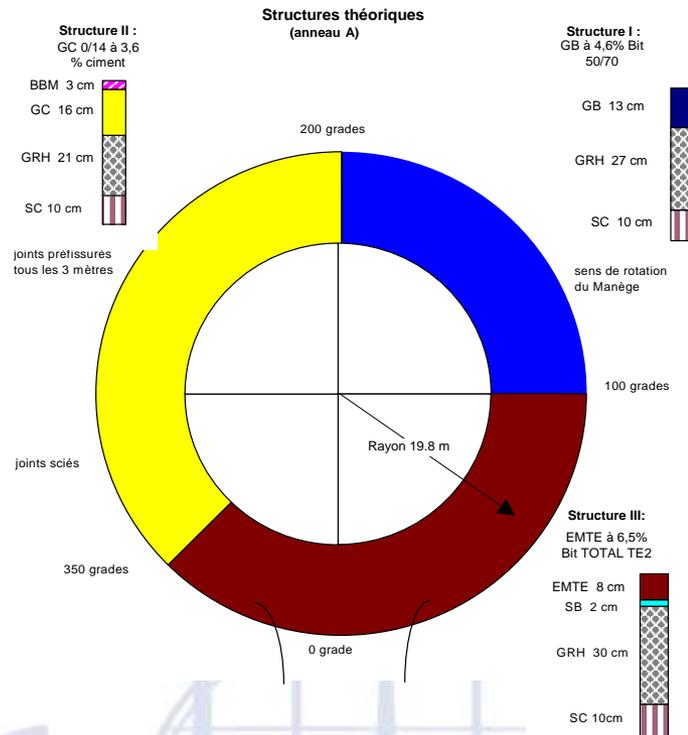
Le manège de fatigue : objectif et apport dans le dimensionnement des chaussées

Années	Manège	Préoccupations
1972	Étude de faisabilité	Les chaussées à fort trafic
1982	Mise en route	Les chaussées à faible trafic Les structures Innovantes La tenues des CS L'introduction de matériaux nouveaux Les entretiens

Le manège de fatigue : objectif et apport dans le dimensionnement des chaussées

Quelques apports marquants des expériences réalisées sur le manège

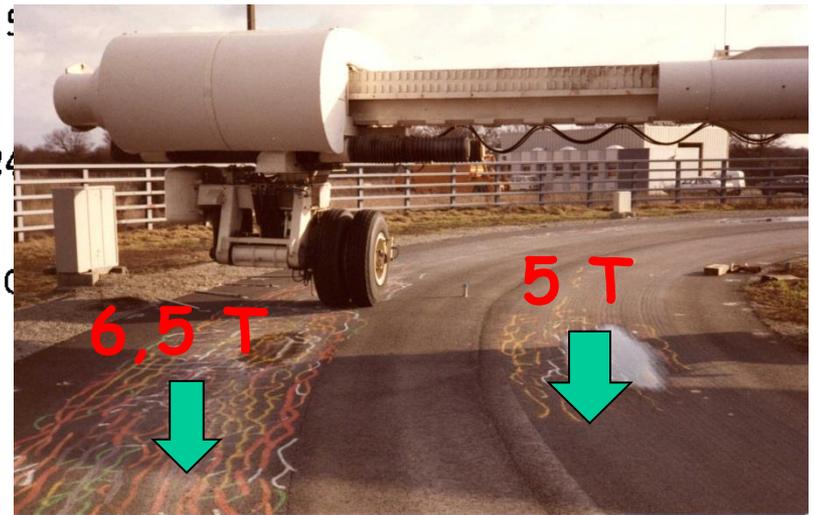
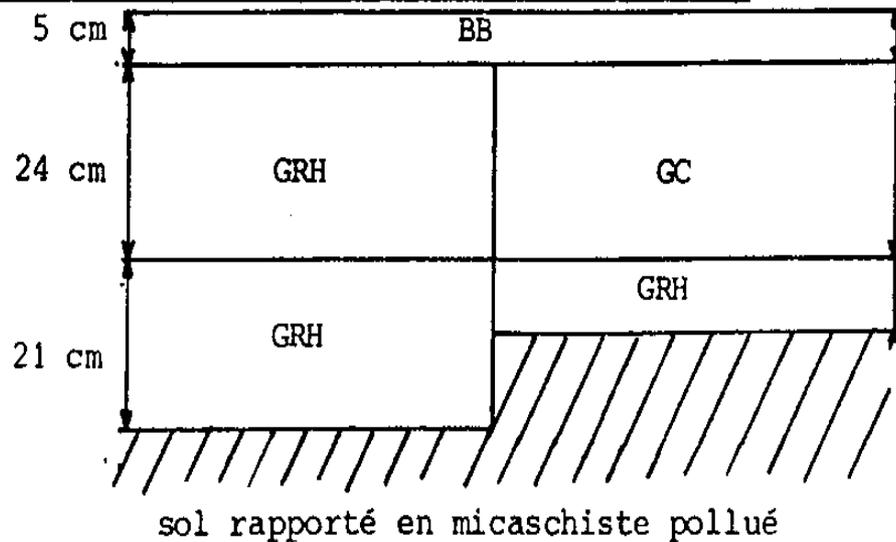
Fig 1 : Implantation des secteurs



Le manège de fatigue : objectif et apport dans le dimensionnement des chaussées

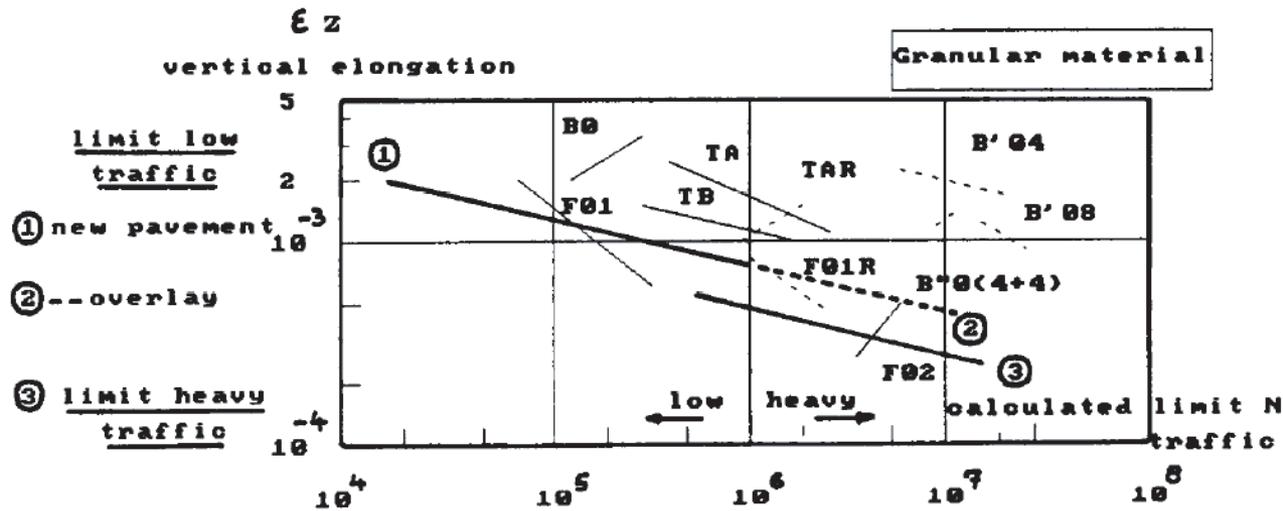
Contribution aux répercussions du passage des charges à l'essieu de 13t à 10 t

Structures de l'expérimentation B0



Le manège de fatigue : objectif et apport dans le dimensionnement des chaussées

Critères de déformation verticale admissible au niveau des sols support



B0 B'0 B''0

B0 : origin

B'04 : with 4cm

B'08 : with 8cm

B''0(4+4) : 2nd maintenance

FORCE

F01: thin flexible

F01R: overlay

F02: thick flexible

TAXE

TA: granular material A

TAR: overlay

TB: granular material B

Le manège de fatigue : objectif et apport dans le dimensionnement des chaussées

Expérience TAXE Parafiscale

Comparaison du comportement de 3 graves non traitées de caractéristiques mécaniques (TCR) différentes

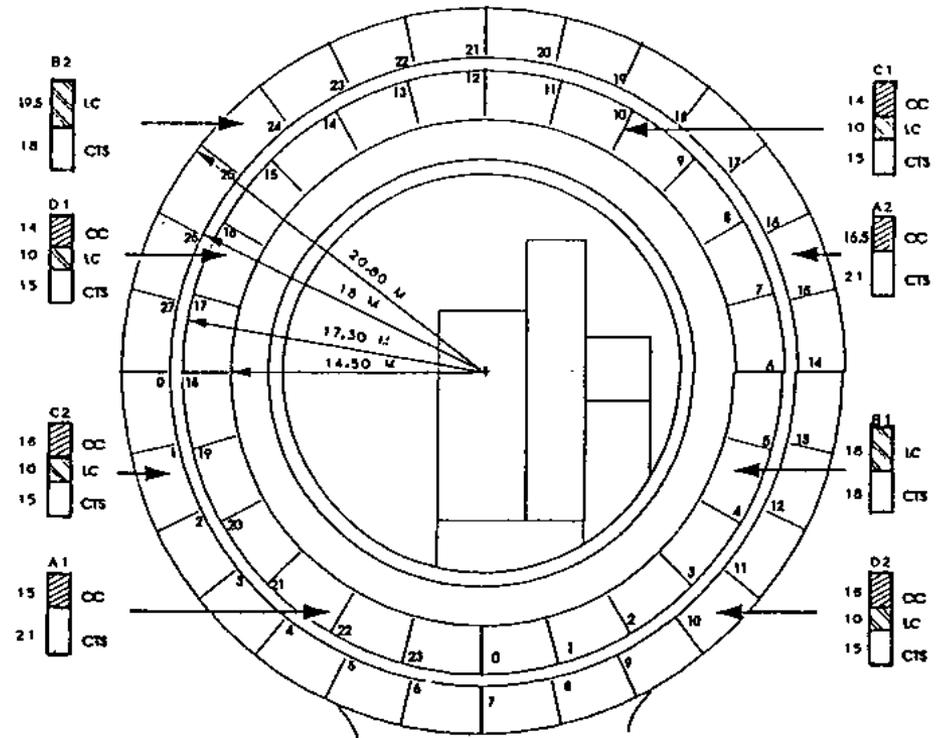
- Validation du classement des graves non traitées par l'essai au TCR au niveau du dimensionnement des chaussées souples
- Développement et validation du module CVCR prenant en compte les caractéristiques mécaniques des GNT pour le dimensionnement des chaussées

Expérience Chaussées en béton

Mise en évidence

- De l'érodabilité des fondations en sable ciment
- De l'apport significatif des dalles goudonnées

Contribue à l'introduction du **coefficient K_d** pour les couches traitées aux liants hydrauliques



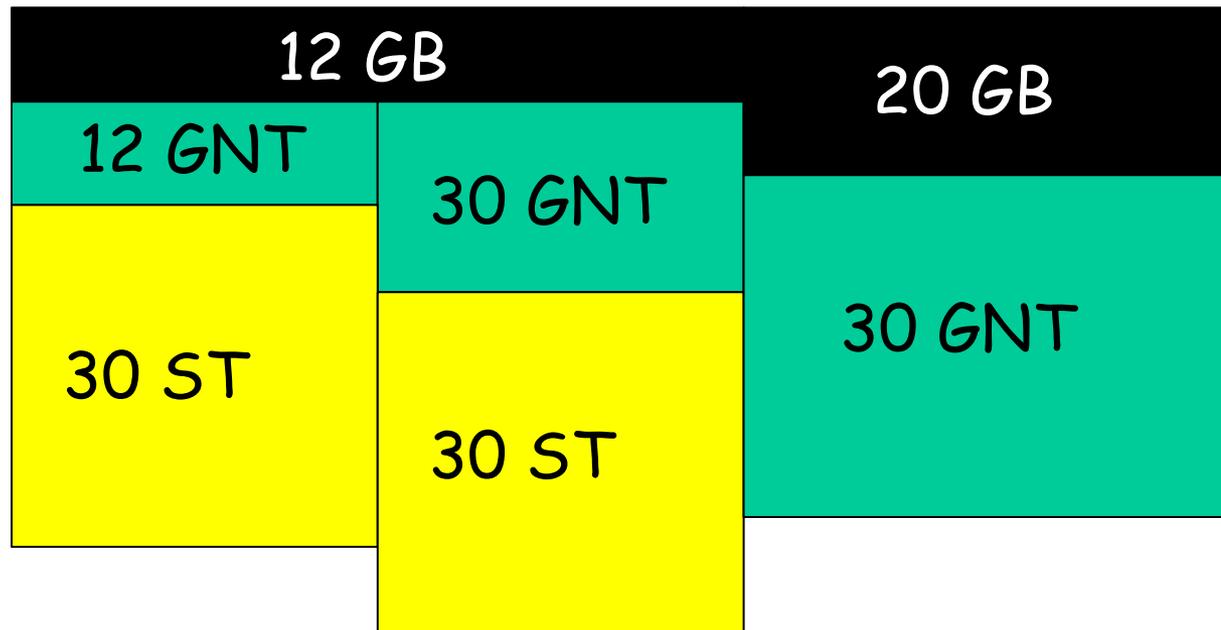
thickness in cm

CC : concrete cement
 LC : lean concrete
 CTS : cement treated sand

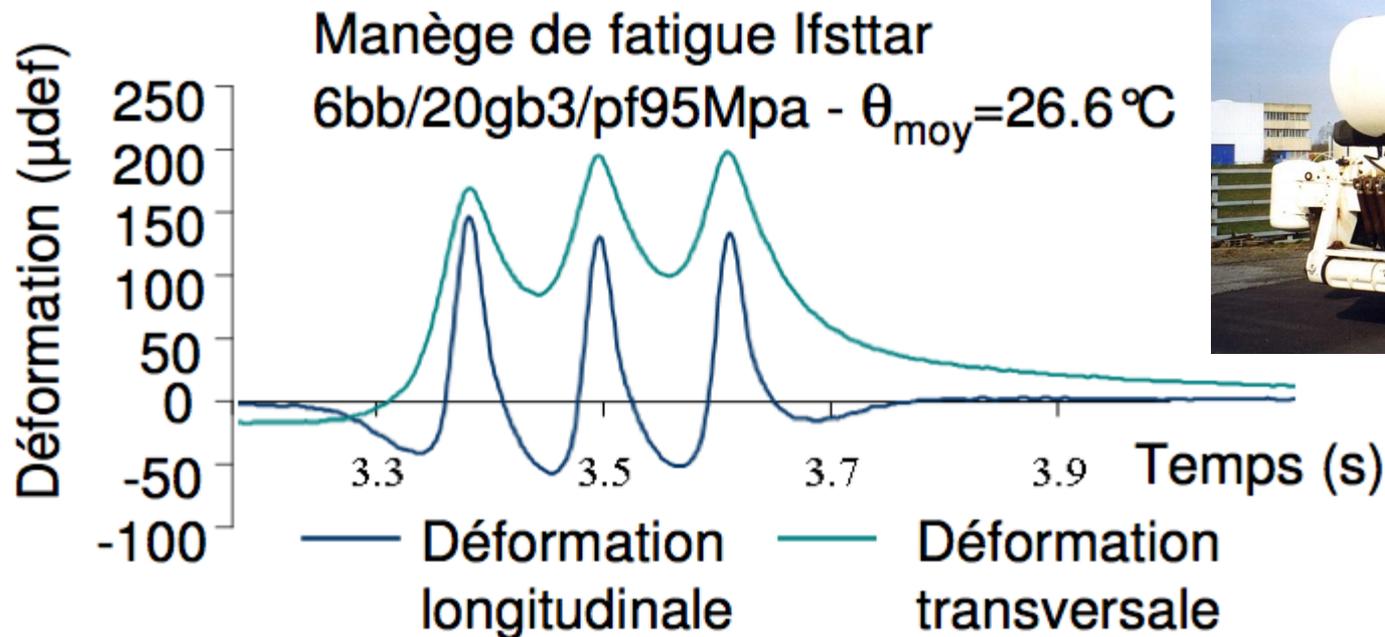
Le manège de fatigue : objectif et apport dans le dimensionnement des chaussées

Expérience structures inverses

Détermination de l'épaisseur optimale de 12 cm de GNT



Expérience structures bitumineuses soumises à des essieux tridem



Validation du programme ViscoRoute©, à partir des déformations relevées (transversales et longitudinales)

Le manège de fatigue : objectif et apport dans le dimensionnement des chaussées

Les expériences réalisées sur le manège montrent la pertinence de la méthode rationnelle de dimensionnement appliquées à ce jour

Elles ont contribué à l'élaboration :

- du guide de conception et de dimensionnement des structures de chaussées (Décembre 1994)
- de la norme NF P 98086 (Octobre 2011)

Conclusion

Forte contribution des expériences « manège » à la conception des chaussées au niveau :

- ✓ des matériaux
- ✓ des structures
- ✓ des modèles de calcul

Avenir

Pour les stratégies d'entretien des chaussées

- ➡ améliorer les connaissances sur le cumul des dommages
 - ➡ le manège de fatigue est un des éléments déterminants pour atteindre cet objectif

**Une pensée pour mon ami
Antoine de Boissoudy**

**et un grand merci à
Jean Michel Piau et Jean Balay**

