

EXPERIMENTATIONS SUR L'ORNIERAGE DES CHAUSSEES A FAIBLE TRAFIC

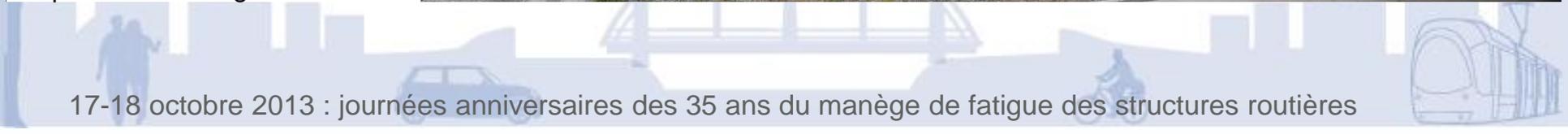
Absamad El Abd, Pierre Horny

1978-2013

Un parcours d'expériences inédites



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



CONTEXTE

- Thèse de Doctorat effectuée de 2002 à 2005 au LCPC à Nantes
- Ecole Doctorale Sciences Physiques et de l'Ingénieur (Univ. Bordeaux 1)
- Sujet :

« Développement d'une méthode de prédiction des déformations de surface des chaussées à assises non traitées »

- Directeurs de thèse : Denys Breysse, Alain Denis - Université Bordeaux 1
- Conseiller d'études : Pierre Horny - LCPC (Division MSC à Nantes).



SOMMAIRE

1. Introduction

- ✓ Problématique – Objectif
- ✓ Expérience menée sur le manège de fatigue

2. Stratégie adoptée

3. Etude en laboratoire

4. Modélisations des déformations permanentes

5. Méthode de calcul de l'orniérage

6. Application

7. Conclusions / perspectives



Problématique : L'orniérage, dû aux déformations permanentes des matériaux non traités, est l'un des principaux modes de dégradation des chaussées souples à faible trafic.

Méthode de dim. des structures de chaussées inappropriée!

- pas d'essai pour déterminer la résistance à l'orniérage des GNT
- calcul en élasticité linéaire
- critère d'orniérage indépendant du matériau, basé sur le niveau de déformation verticale élastique.

Objectif : Développer une méthode de calcul de l'orniérage des assises de chaussées en GNT, avec la prise en compte :

- du comportement non linéaire des matériaux non liés;
- de l'état du matériau (conditions hydriques).

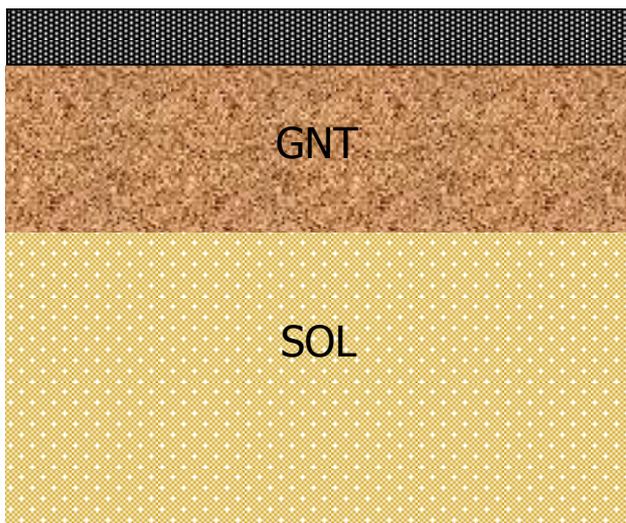
Expérimentation sur le « Manège de fatigue »

Structure 1 L: 22,5m	Structure 2 L: 22,5 m	Structure 3 L: 22,5 m	Structure 4 L: 22,5 m	Structure 5 L: 30 m
BBS2 50mm	BBS2 50 mm	BBS3 80 mm	BBS3 80 mm	BBSG 60 mm
GRH 200mm	GRH 200 mm	GRH 200 mm	GRH 200 mm	GB3 80 mm
	GRH 150 mm	GRH 200 mm	GRH 300 mm	GRH 200 mm
Sol support : sable argileux, épaisseur \approx 2,4 m				

NE1 durée de vie en millions d'essieux standards de 130 kN
(module du sol : 100 MPa)

Structure 1	Structure 2	Structure 3	Structure 4
NE1 = 0,14	NE1 = 0,38	NE1 = 1,50	NE1 = 5,00

Matériaux testés sur les structures du manège



8 cm - Couche de roulement : béton bitumineux souple

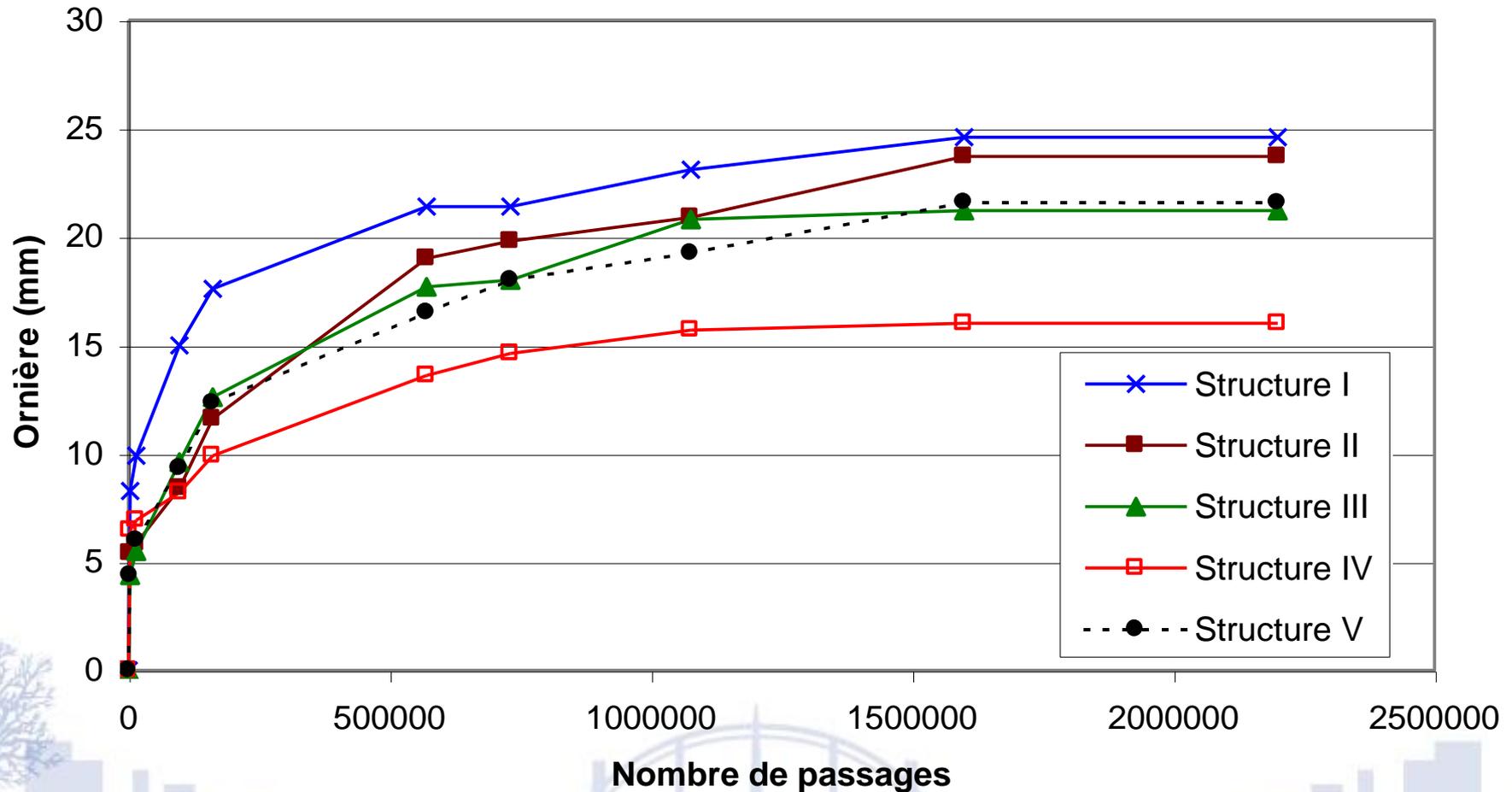
50 cm - **GNT** : carrière des Maraîchères ($w = 4$ à 5%)

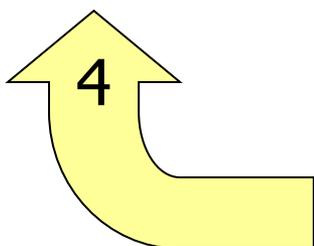
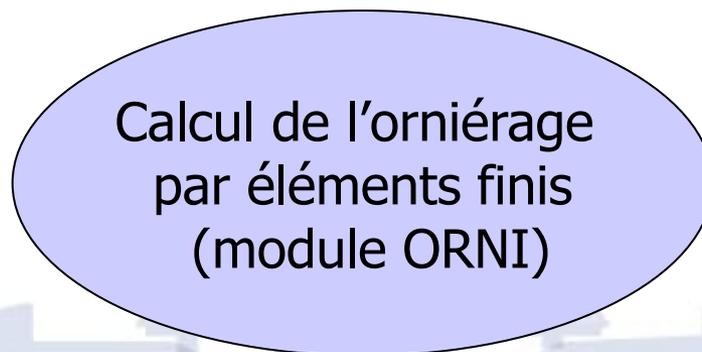
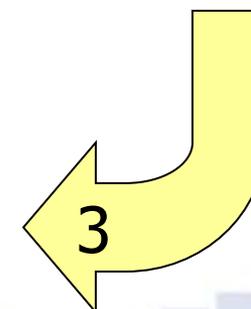
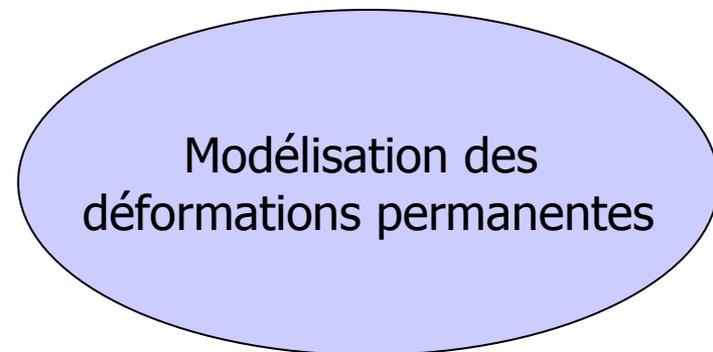
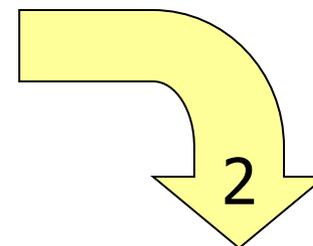
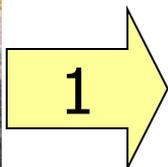
240 cm - **Sol** : sable de Missillac

Instrumentation des planches

- Capteurs de mesure des déformations longitudinales et transversales dans les enrobés;
- Capteurs de déformations verticales dans les matériaux non liés (barreaux à jauges);
- Sondes de température, placées à 3 profondeurs différentes;
- Sondes de teneur en eau dans la GNT et le sol;
- Capteurs de déplacement ancrés, permettant de suivre le déplacement vertical total (déflexion) au passage des charges.

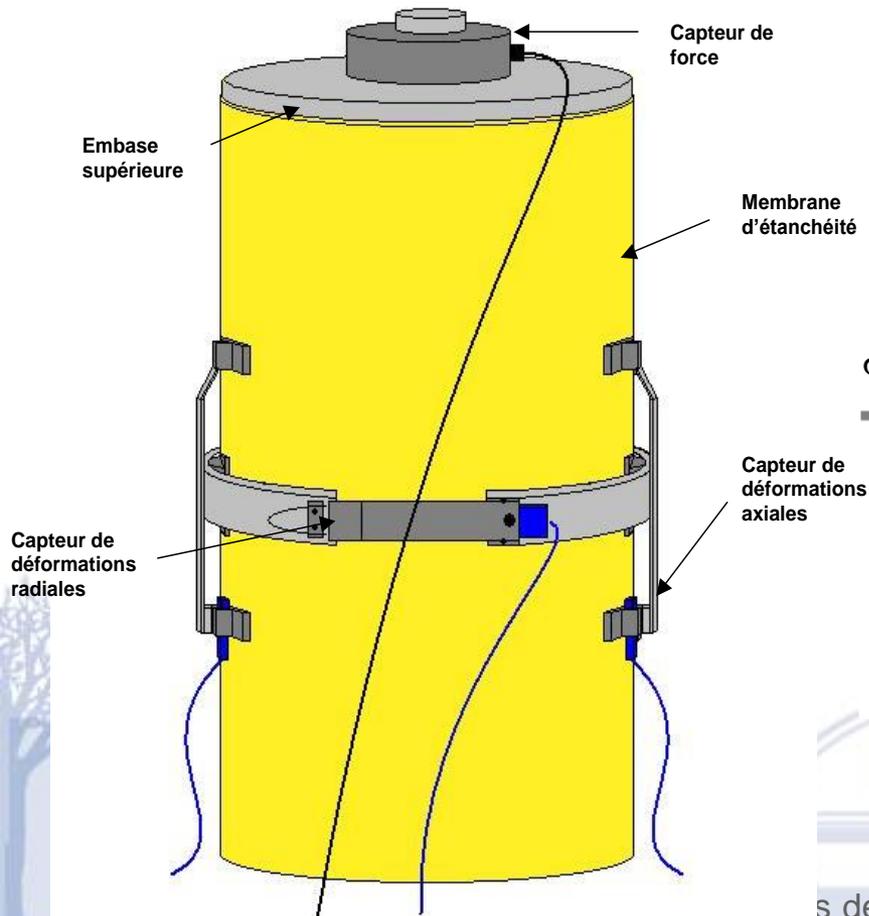
Mesure de l'orniérage sur les différentes structures



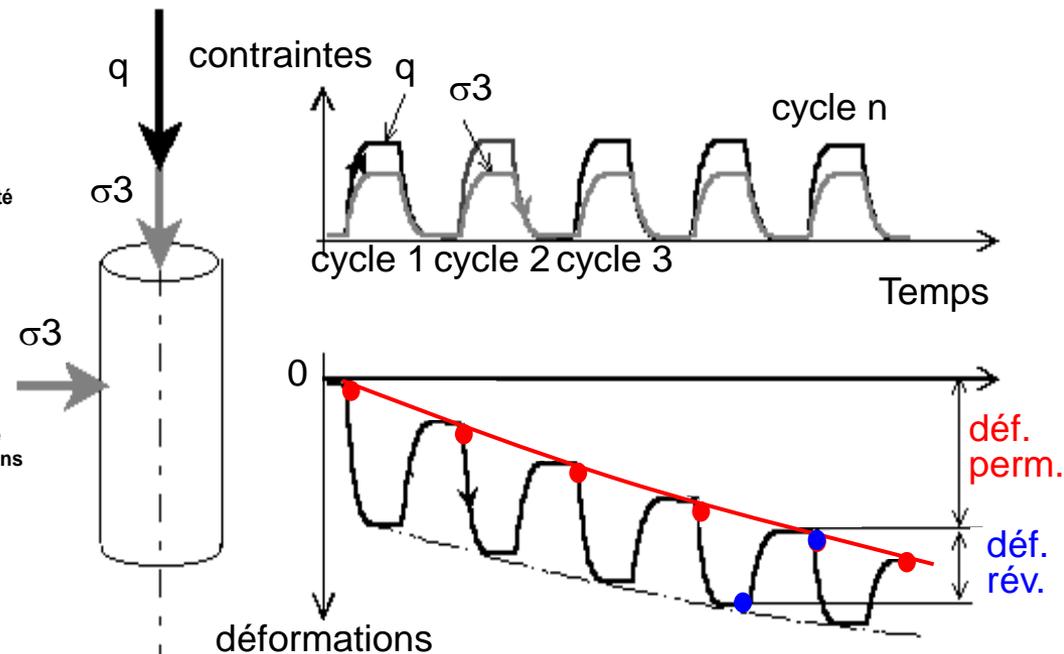


Principe de l'essai triaxial à chargements répétés

CELLULE TRIAXIALE ET INSTRUMENTATION



SOLLICITATIONS ET DÉFORMATIONS



Procédures d'essai

1/ Essais triaxiaux statiques

Détermination de la droite de rupture du matériau:

- dans le plan (p, q) , $q = m.p + s$
- cohésion c et angle de frottement φ dans le plan de Mohr

2/ Essais triaxiaux cycliques : simulation des chargements routiers

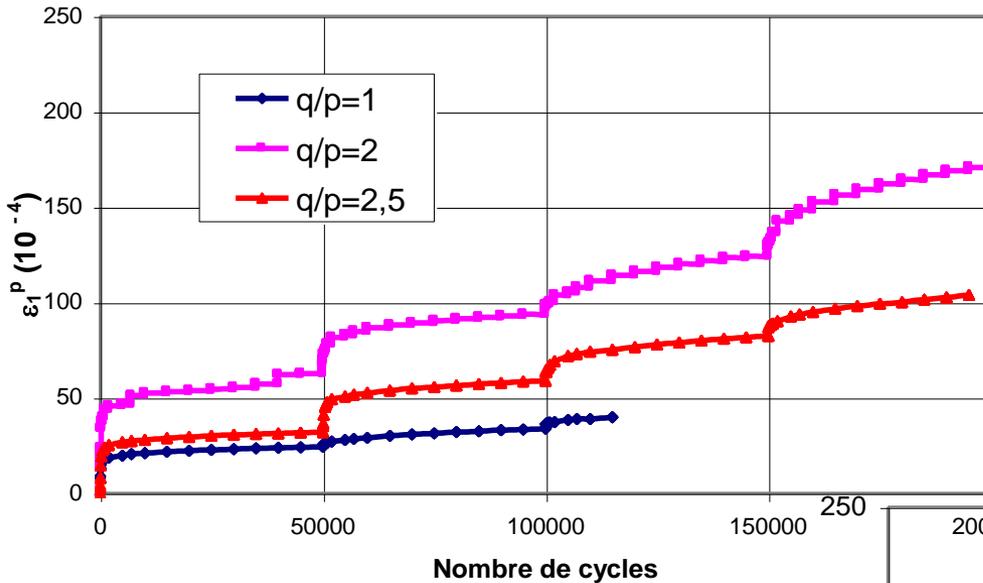
a/ Étude du comportement réversible

- phase de conditionnement de l'éprouvette durant 20000 cycles
- chargements réversibles suivant différents chemins de contraintes q/p
- ⇒ calage avec un modèle élastique non linéaire (modèle de Boyce)

b/ Étude des déformations permanentes

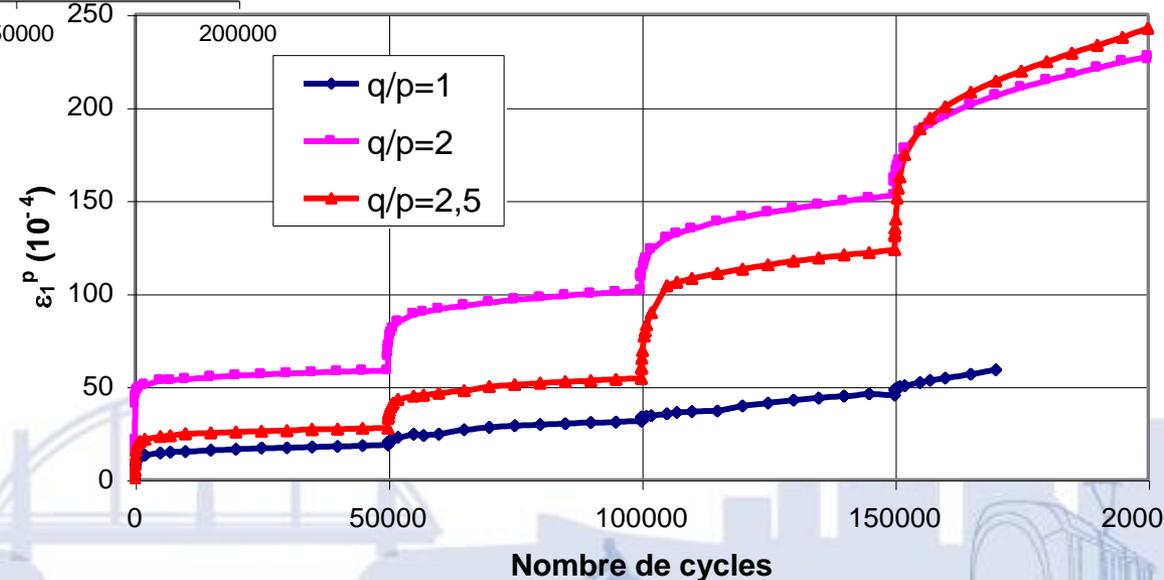
Procédure d'essais par paliers [Gidel, 2002]: chaque éprouvette est soumise à différents niveaux de contraintes croissants suivant le même chemin de chargement (Dq/Dp constant).

Essais de déf. permanentes : GNT des Maraîchères



← Essais à $w = 4 \%$

Essais à $w = 5 \%$ →



Modèles de prédiction des déf. permanentes

Modèle empirique

$$\varepsilon_1^p(N) = f(N) \cdot g(p_{\max}, q_{\max})$$

Variation en fonction du **nombre de cycles** [Hornych, 1998] :

$$f(N) = A \left[1 - \left(\frac{N}{N_0} \right)^{-B} \right]$$

Variation en fonction des **contraintes** [Gidel, 2001] :

$$g(p_{\max}, q_{\max}) = \varepsilon_1^{p_0} \cdot \left(\frac{1}{p_a} \right)^n \left(\frac{1}{m + \frac{s}{p_{\max}} - \frac{q_{\max}}{p_{\max}}} \right)$$

Modèle élastoplastique

Développé par Chazallon [2000];

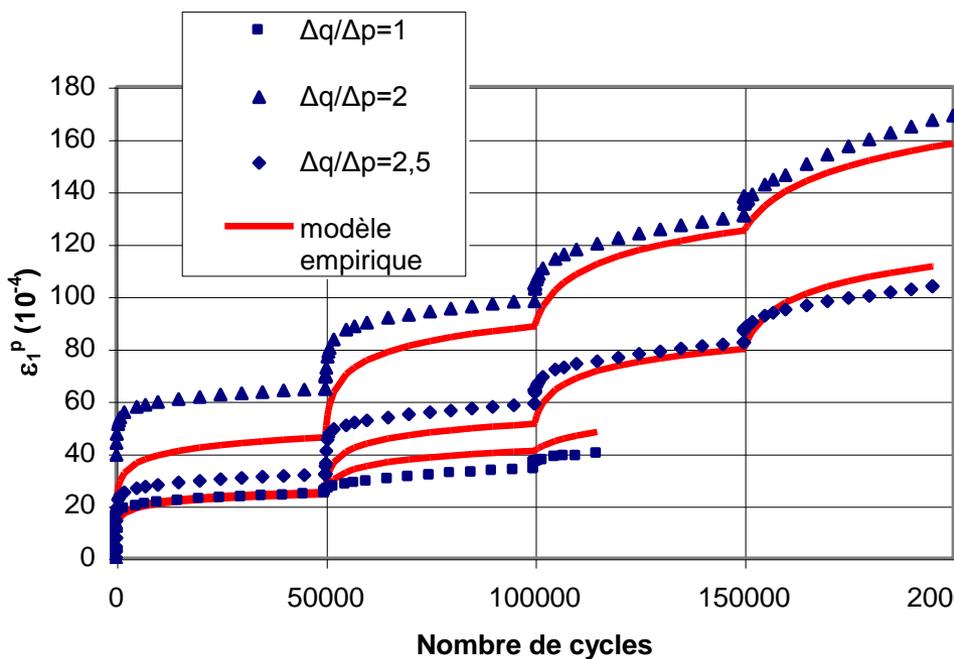
Modèle non associé, avec écrouissage cinématique et isotrope;

Basé sur la fonction de charge et le potentiel plastique du modèle de Hujeux [1985];

Mise au point d'un programme de calcul permettant de simuler la réponse du modèle à un chargement en contraintes [Piganeau, 2003];

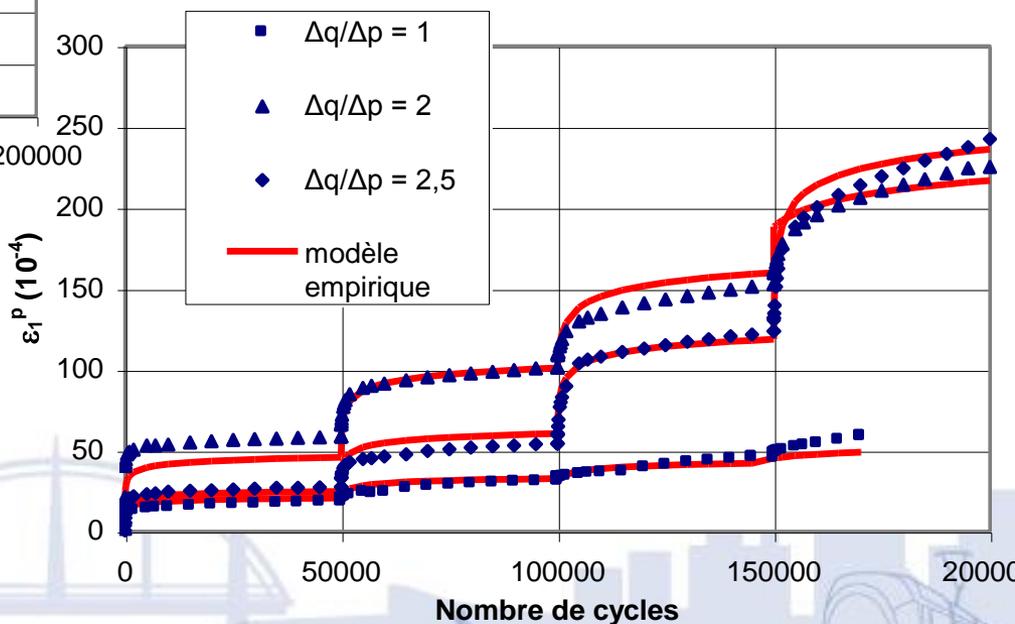
Comportement élastique non linéaire décrit par le modèle de Boyce.

Ajustement du modèle empirique



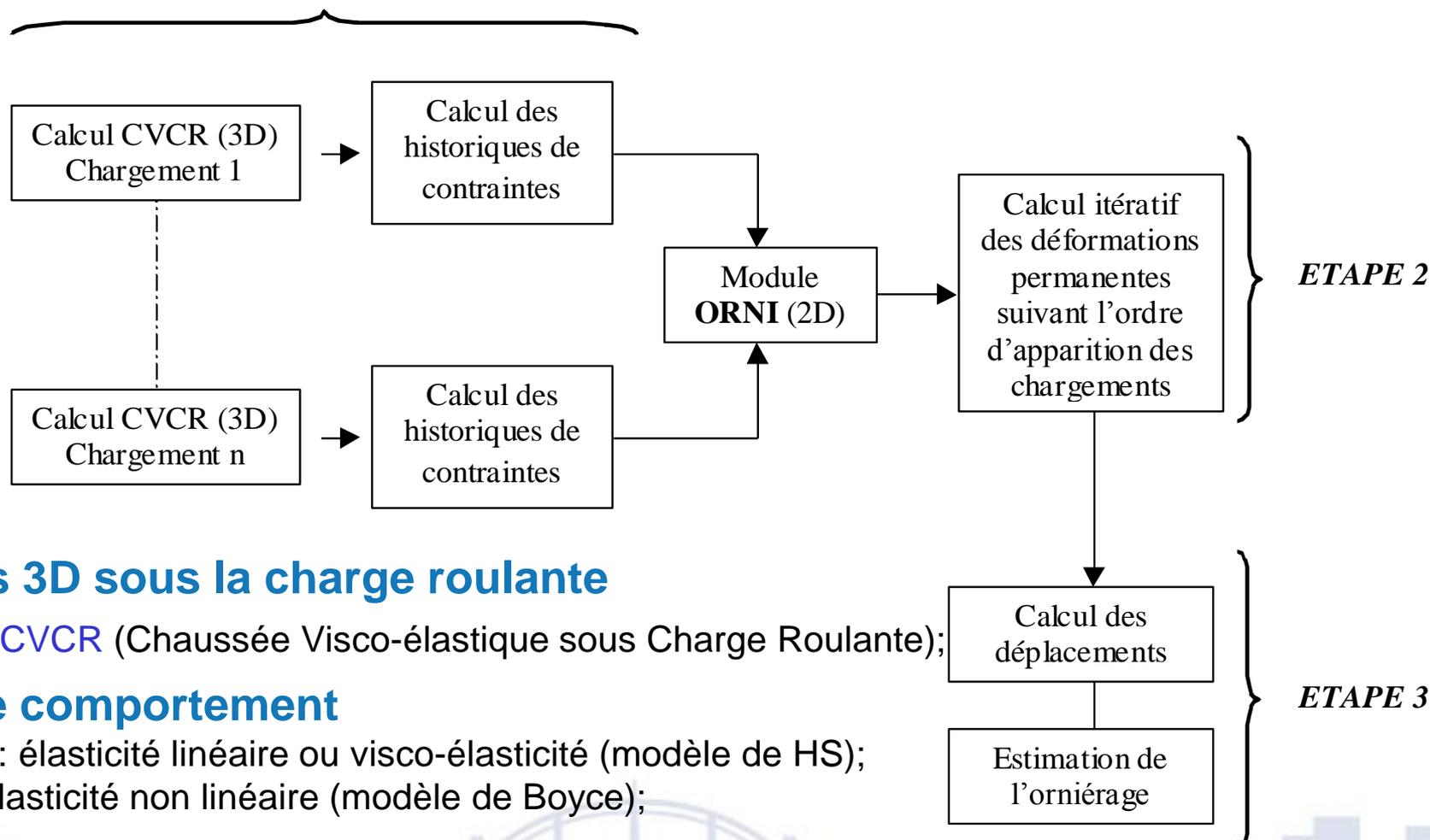
Essais à $w = 5\%$

← Essais à $w = 4\%$



Calcul de l'orniérage

- (1) Calculs 3D des champs de contraintes dans la structure, en ne considérant que le comportement réversible (élasticité ou visco-élasticité):
 - **méthode EF**: différents cas de chargement (module CVCR) ;
- (2) Cumul des déformations permanentes en différents points, dans le plan (0, Y, Z), en réponse aux différents champs de contraintes calculés dans (1);
- (3) Calcul du champ de déplacements (orniérage) résultant en 3D:
 - **méthode EF**: calcul structurel (module **ORNI**).

ETAPE 1**Calculs 3D sous la charge roulante**

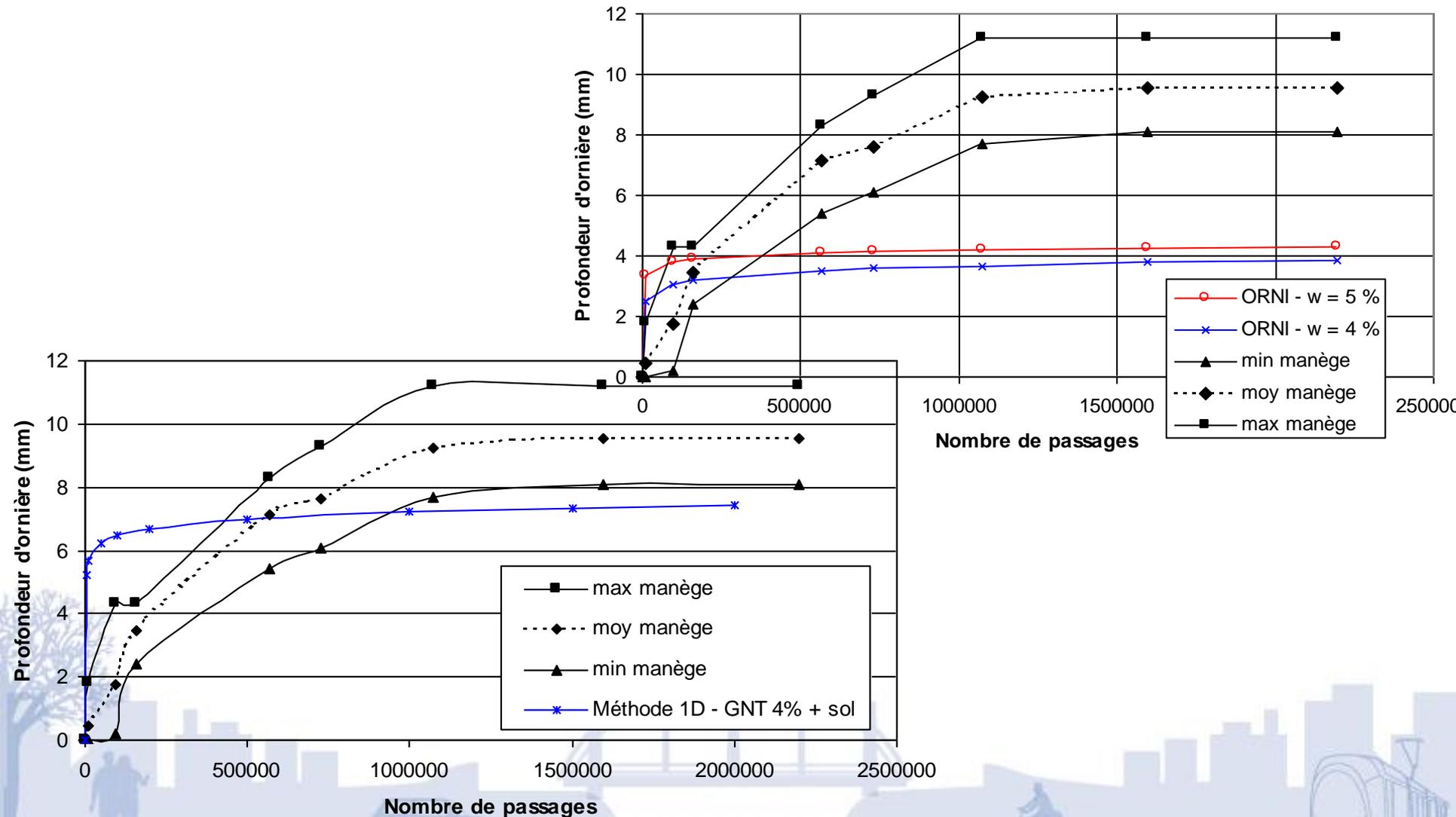
- Module **CVCR** (Chaussée Visco-élastique sous Charge Roulante);

Lois de comportement

- Enrobé : élasticité linéaire ou visco-élasticité (modèle de HS);
- GNT : élasticité non linéaire (modèle de Boyce);

Calcul des historiques de contraintes pour les conditions de chargements de la structure étudiée (différentes *températures, charges, vitesses, positions*).

Application de la méthode au « Manège de fatigue »



... CONCLUSIONS

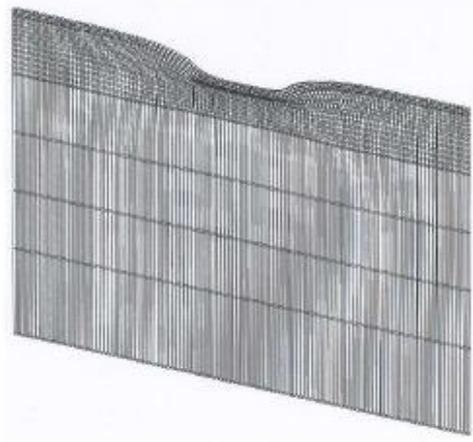
- **Prédictions satisfaisantes** des déformations permanentes axiales dans les essais triaxiaux cycliques (modèles empirique et élastoplastique);
- Proposition d'une méthode de calcul de l'orniérage basée sur le module **ORNI**;
- Prédiction de l'orniérage obtenu sur le « manège de fatigue »
 - ✓ Nécessité de prendre en compte l'orniérage du sol support
 - ✓ Description non satisfaisante de la cinétique d'évolution de l'orniérage (différence entre les charges roulantes appliquées sur le manège et les chargements simulés en laboratoire)

Suite de la thèse...

Implantation du modèle élastoplastique dans le module de calcul ORNI

Développement d'une méthode d'orniérage des enrobés bitumineux basée sur des essais triaxiaux.

Merci de votre attention...



Doctorants MSC 2004



CCGR 2005