



**HAL**  
open science

## Essais de fluage confinés et thermo-régulés sur enrobés bitumineux : expérimentation et modélisation

Juliette Sohm, Thomas Gabet, Pierre Hornych, Jean-Michel Piau

► **To cite this version:**

Juliette Sohm, Thomas Gabet, Pierre Hornych, Jean-Michel Piau. Essais de fluage confinés et thermo-régulés sur enrobés bitumineux : expérimentation et modélisation. 20ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2011, Besançon, France. 6p. hal-00635723

**HAL Id: hal-00635723**

**<https://hal.science/hal-00635723>**

Submitted on 25 Oct 2011

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Essais de fluage confinés et thermo-régulés sur enrobés bitumineux : expérimentation et modélisation [5]

J. SOHM<sup>a</sup>, T. GABET<sup>a</sup>, P. HORNYCH<sup>a</sup>, J.M. PIAU<sup>a</sup>

a. Institut Français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR),  
centre de Bouguenais, 21, route de Bouaye, 44344 Bouguenais.

## Résumé :

*Pour étudier les déformations permanentes des enrobés bitumineux, un essai triaxial thermo-régulé a été mis au point. Des essais de fluage statique à différents déviateurs, confinements et différentes températures ont permis d'étudier l'influence de ces paramètres sur le comportement des enrobés. Un modèle viscoélastique-viscoplastique a été développé et présente de bonnes capacités pour simuler les essais de fluage.*

## Abstract:

*In order to study the permanent deformations of bituminous mixtures, a temperature-controlled triaxial test has been set up. By means of triaxial creep tests at imposed stress, the influence of different parameters on the behavior of asphalts (confining pressure, deviatoric stress and temperature) has been investigated. A viscoelastic-viscoplastic model has been developed to simulate the creep tests and has shown good ability for simulating the creep tests.*

**Mots clefs : enrobés bitumineux, déformations permanentes, orniéage, essais triaxiaux thermo-régulés, fluage triaxial, modélisation, viscoélasticité, viscoplasticité.**

## 1 Introduction

L'orniéage est l'un des principaux mécanismes potentiels de dégradation des chaussées. Il se traduit par l'apparition de traces longitudinales creusées par les pneus dans la chaussée ([7], [3]). Ces déformations sont permanentes et posent des problèmes de sécurité pour l'utilisateur de la route. Ces déformations peuvent également apparaître dans le cadre de chargements statiques sur enrobés, comme ceux observés sur les aires de stationnement et de stockage. Une thèse a été lancée au LCPC sur la caractérisation des déformations permanentes dans les enrobés bitumineux, avec comme principal objectif de développer un essai de laboratoire permettant l'étude et la prédiction de l'orniéage des enrobés. Ces essais viennent compléter les essais à l'orniéage, relativement bien représentatifs de la réalité, mais difficilement exploitables pour caractériser le matériau. La température, le caractère triaxial des sollicitations, et notamment le confinement ont une influence considérable sur le comportement des enrobés ([1],[6]). Ils représentent les thèmes majeurs de cette étude.

Dans le cadre de cette thèse, un essai triaxial a donc été mis au point afin de réaliser différents types d'essais triaxiaux : fluage monotone, fluage cyclique à différentes fréquences, différentes températures et différents niveaux de déviateurs et de confinement. Seuls les essais de fluage monotone à différents déviateurs, confinement et différentes températures sont présentés dans cet article. Le choix des conditions expérimentales des essais triaxiaux est basé sur les résultats de calculs de structures de chaussées réalisés avec les logiciels Alize-LCPC en élasticité linéaire, sous des niveaux de charge correspondant à des essieux « standards » de poids-lourds. Des niveaux de déviateurs et de confinement représentatifs des chargements routiers ont ainsi été définis.

Basé sur les résultats de ces essais, un modèle de comportement viscoélastique-viscoplastique a été mis au point et ses paramètres ont été identifiés. Ce modèle présente de réelles capacités à simuler le comportement triaxial des enrobés, dans la gamme des essais réalisés.

## 2 Corps d'épreuve et dispositif expérimental

### 2.1 Matériau et éprouvettes

Le matériau choisi pour cette étude est un béton bitumineux semi-grenu (BBSG) de granulométrie 0/10 mm. Ce matériau est un matériau typique de couche de surface. Il présente des performances très moyennes en termes d'ornièrage tout en restant conforme aux spécifications pour les couches de roulement. Un essai à l'ornièreur MLPC (NF EN 12697-27) donne 7% d'ornièr (Δh/h = 7%, avec h = épaisseur de la plaque) à 30000 cycles.

Les éprouvettes d'enrobé sont obtenues à partir plaques fabriquées au moyen d'un compacteur de plaques, selon les normes NF EN 12697-33 et -35. Les échantillons sont ensuite carottés dans le sens longitudinal, la trop faible épaisseur des plaques ne permettant pas de les carotter verticalement. Le diamètre des carottes est de 80 mm. Ces carottes sont ensuite sciées à 160 mm de long afin de respecter un élancement de 2, couramment utilisé pour ce type d'essais. La taille de l'éprouvette est un compromis intégrant la taille maximale des grains du matériau et les contraintes dimensionnelles et d'effort de la cellule et de la presse.

### 2.2 Presse triaxiale thermo-régulée et instrumentation

La presse utilisée est une presse Schenk de 100 kN, munie d'un vérin axial, sur laquelle a été intégrée une cellule de confinement thermo-régulée (voir figure 1). Le confinement maximum à l'intérieur de la cellule est de 700 kPa. Il est assuré par de l'eau. Un serpentin dans lequel s'écoule un fluide calorporteur permet de contrôler la température à l'intérieur de la cellule, de 10 à 40°C. Un système de membrane étanche assure la protection de l'échantillon vis-à-vis du fluide de confinement. Des plots traversant cette membrane, collés sur l'éprouvette, assurent la mise en place des 3 capteurs de déformation (LVDT) sur l'échantillon.

La cellule est équipée d'un capteur de force de 25 kN, placé à l'intérieur de la cellule, sur le piston de chargement, d'un capteur de pression de 1 MPa, de deux sondes de température, de deux capteurs LVDT (±2.5 mm), pour la mesure des déformations axiales et d'un capteur LVDT (±2.5 mm) monté sur un anneau articulé pour la mesure des déformations radiales (par déformation du diamètre).

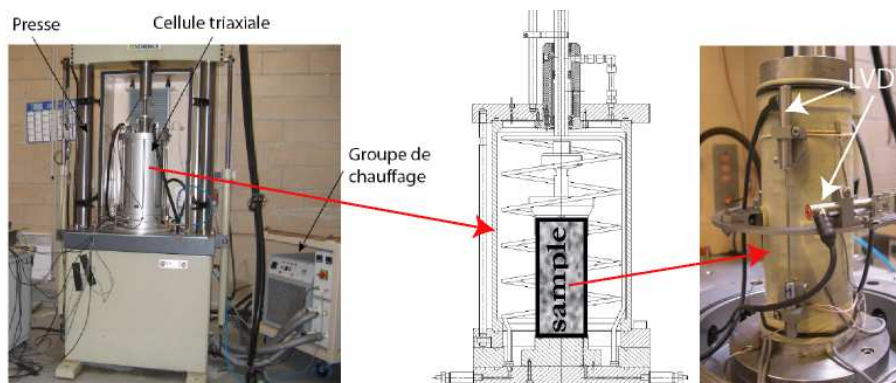


FIG. 1 – Photo du dispositif expérimental, schéma de la cellule triaxiale, membrane étanche et capteurs LVDT montés sur l'éprouvette

## 3 Campagne d'essais de fluage confinés thermo-régulés

Le principe des essais de fluage statique réalisés consiste à appliquer à l'éprouvette une pression de confinement et un déviateur constants, et à suivre ses déformations au cours du temps. 25 essais de ce type ont été réalisés au cours de la première campagne expérimentale, à des températures allant de 10 à 40°C, à des niveaux de contrainte déviatorique allant de 200 à 2000 kPa et à une pression de confinement allant de 0 à 200 kPa. Les différents essais de fluage réalisés à 20°C sont présentés sur la figure FIG. 2. Les chargements ont été choisis en fonction des résultats de calculs de structure réalisés avec Alize-LCPC donnant une première approximation des chemins triaxiaux de sollicitation dans une chaussée standard sous charge roulante.

Cette étude est focalisée sur les chemins à pression moyenne positive, très représentatifs de l'ornièrage à petit rayon. Plusieurs paramètres d'essais ont été étudiés durant cette campagne expérimentale : l'influence

des niveaux de la contrainte déviatorique  $q$  et de la contrainte de confinement  $\sigma_3$ , ainsi que la température.

La composante viscoélastique des essais, détectable en phase de décharge, s'avérant négligeable pour l'intégralité des essais, les résultats peuvent s'interpréter directement en termes de déformations permanentes.

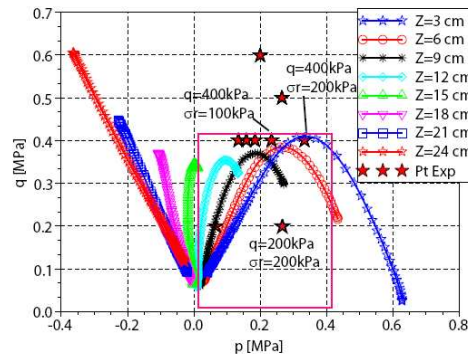


FIG. 2- Chemins de contraintes, dans l'espace ( $p$ , pression moyenne ;  $q$ , déviateur), à différentes profondeurs dans une chaussée sous le passage d'une charge roulante et chargements expérimentaux (étoiles) des essais de fluage à 20°C. (nota : les contraintes et déformations sont positives en compression).

### 3.1 Influence du niveau de contrainte déviatorique

La figure FIG. 3 présente cinq essais de fluage non confinés réalisés à cinq niveaux de contrainte déviatorique. La figure FIG. 3a, qui présente l'évolution des déformations radiales en fonction du temps indique clairement l'influence du niveau de contrainte sur la cinétique de l'essai. Elle semble aussi montrer que les niveaux atteints seront d'autant plus élevés que le déviateur est important. La figure FIG. 3b, quant à elle, montre des comportements volumiques différents. Le comportement volumique est ici dilatant et dépendant du niveau de déviateur. Le squelette granulaire ne semble donc pas se déformer de la même manière selon les niveaux de contraintes triaxiales. Lorsque le matériau est confiné, les résultats sont les mêmes ([5], résultats non présentés ici).

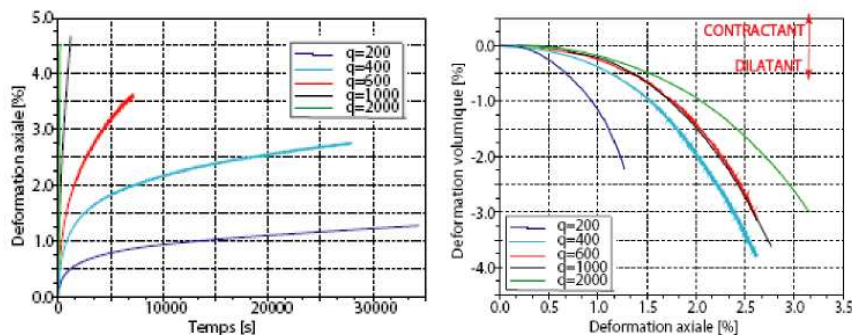


FIG. 3 - Influence du niveau de la contrainte déviatorique sur la cinétique de l'essai de fluage sans confinement (a) ainsi que sur la rhéologie du comportement (b).

### 3.2 Influence du confinement

La figure 4 présente l'influence du confinement sur le comportement en fluage du matériau. Seuls les essais à 20°C, avec une contrainte déviatorique de 400 kPa, sont présentés sur cette figure. Figure 4a, les résultats montrent clairement l'effet du confinement sur les seuils de déformation atteints. La figure 4b montre que plus le matériau est confiné, moins il est dilatant, jusqu'à être complètement contractant pour un confinement de 200 kPa. Ce type de comportement, où les déformations volumiques changent de signe suivant le niveau de confinement, est très similaire à celui d'un matériau granulaire non lié, et traduit la structure granulaire de l'enrobé.

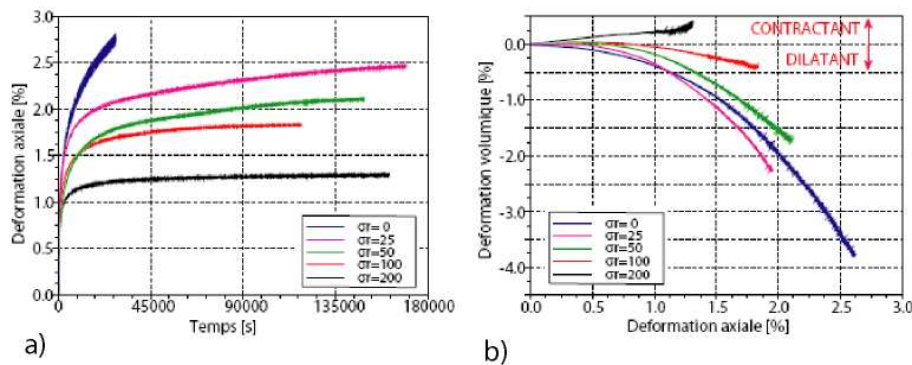


FIG. 4 - Influence du confinement sur la cinétique (a) et la rhéologie du matériau (b). Essais de fluage réalisés à 20°C, pour un déviateur de 400 kPa.

### 3.3 Influence de la température

L'influence de la température sur le comportement en fluage de l'enrobé bitumineux étudié est présentée figure FIG. 5. D'une manière générale, plus la température est élevée, plus le matériau flue, et plus il flue rapidement (figures 5a). Lorsque le confinement est assez important (figure 5b), le seuil de déformation ne varie toutefois plus avec la température, seule la cinétique de l'essai change.

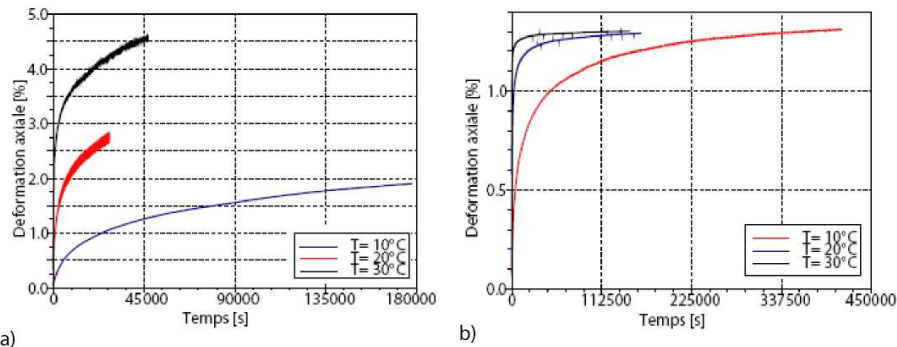


FIG. 5 - Influence de la température sur le comportement en fluage du matériau, a) sans confinement ( $q=400$  kPa,  $\sigma = 0$  kPa) et b) avec confinement ( $q=400$  kPa,  $\sigma = 200$  kPa).

## 4 Modélisation des essais

On impose au modèle de respecter les conditions suivantes : un comportement viscoélastique pour simuler les décharges (non développé ici), une stabilisation des déformations quand la pression de confinement est élevée, un effet du confinement sur le comportement volumique du matériau et la vérification du principe d'équivalence temps-température.

### 4.1 Modèle viscoélastique-viscoplastique

Un modèle viscoélastique-viscoplastique a été mis au point, considérant que la déformation totale est la somme d'une déformation viscoélastique et d'une déformation viscoplastique. Ce modèle est détaillé dans la thèse de J. Sohm ([5]).

La composante viscoélastique est déterminée à partir du modèle de Huet-Sayegh ([4]). Les paramètres du modèle sont calés à partir d'un essai de module complexe et d'une décharge d'essai de fluage. Les déformations viscoélastiques sont faibles devant les déformations plastiques, la partie viscoélastique du modèle ne sera pas développée ici.

La composante viscoplastique de la déformation est déterminée à l'aide d'un modèle de type Perzyna, sur la base des équations suivantes:

$$\underline{\dot{\epsilon}}^{vp} = \frac{1}{\eta(T)} \psi(f) \frac{\partial f}{\partial \underline{\underline{\sigma}}} \quad \text{soit} \quad \dot{\epsilon}_V^{vp} = \frac{1}{\eta} \psi(f) \frac{\partial f}{\partial p} \quad \text{et} \quad \dot{\epsilon}_D^{vp} = \frac{1}{\eta} \psi(f) \frac{\partial f}{\partial q}, \quad f \text{ étant la surface de charge.}$$

$\psi(f) = \left\langle \frac{f}{f_0} \right\rangle^N$  (partie positive de  $f/f_0$ ),  $N$  étant un exposant positif et  $f_0$  une constante. La surface de charge

est parabolique, d'axe vertical :  $f(p, q) = p^2 - p \cdot pc + \frac{q \cdot pc}{2x_m}$  (voir figure 6).  $p_c$  et  $x_m$  sont deux paramètres d'érouissage, définis selon les lois suivantes:  $p_c = p_{c0}(1 + c \epsilon_V^{vp} + e \epsilon_D^{vp})$  et  $x_M = x_{M0}(1 + d \epsilon_V^{vp} + b \epsilon_D^{vp})$ .

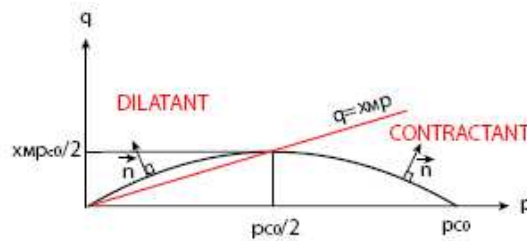


FIG. 6 : Surface de charge de type parabolique

L'identification des paramètres du modèle viscoplastique est basée sur une minimisation de la distance entre les résultats de simulation et les points expérimentaux. 8 essais ont été pris en compte pour le calage, à raison de 3 points par courbe, pour les valeurs de déformation axiales et les valeurs de déformation radiales. Les 8 paramètres viscoplastiques du modèle ont ainsi été calés sur 48 points expérimentaux. Notons que le modèle est calé par le biais d'essais axisymétriques, donc dans le cadre d'une description bidimensionnelle. Une fois calé, ce modèle s'utilise aisément dans le cadre de contraintes tridimensionnelles.

## 4.2 Comparaison essais/simulations

Le modèle présente, d'une manière générale, une bonne capacité à simuler le comportement du matériau. La figure 7 montre que le modèle simule assez bien l'influence du confinement sur la réponse du matériau. La figure 7a met en évidence une bonne simulation de la cinétique des essais, un peu moins bonne pour un confinement nul. La figure 7b indique que le modèle simule bien les déformations volumiques contractantes puis dilatantes, en fonction du confinement. D'après les résultats figure 8, le modèle simule bien l'influence de la température sur la réponse du matériau. La cinétique des essais est bien simulée (figure 8a). Par contre, le modèle simule moins bien le comportement contractant/dilatant (figure 8b). Le comportement volumique moyen est respecté, mais le modèle ne simule pas l'évolution de ce comportement avec la température.

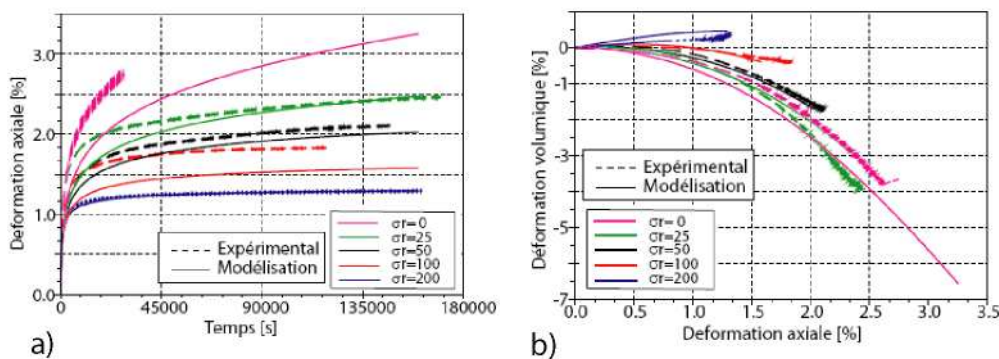


FIG. 7 - Simulation de l'influence du confinement sur la réponse du matériau. Essais à 20 °C  
a) cinétique de fluage, b) comportement volumique

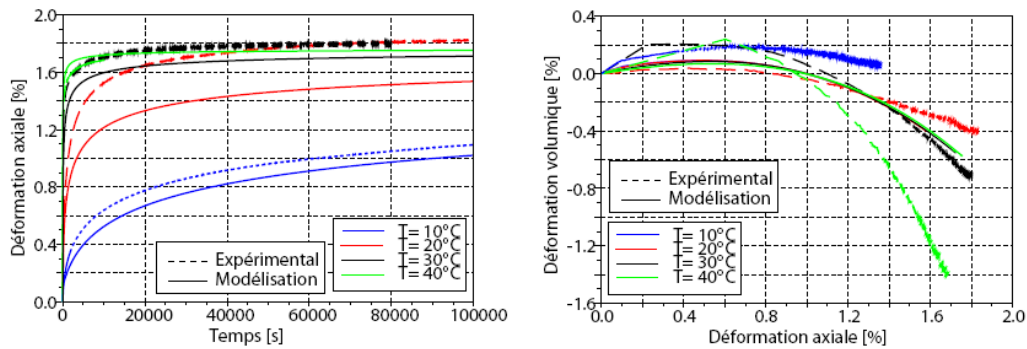


FIG. 8 - - Simulation de l'influence de la température sur la réponse du matériau.  $\sigma_r = 100$  kPa  
a) cinétique de fluage, b) comportement volumique

## 5 Conclusions et perspectives

Dans le cadre de cette étude, un essai triaxial thermo-régulé sur enrobés a été mis au point. Une première campagne d'essais de fluage statique a montré plusieurs aspects majeurs du comportement triaxial des enrobés, notamment l'influence du confinement sur la cinétique des essais, sur la stabilisation des déformations et sur le comportement volumique du matériau. Ces essais ont aussi montré que le PETT pouvait être étendu au domaine des déformations permanentes, sous confinement. Un modèle viscoélastique-viscoplastique a été mis au point afin de simuler les aspects précédemment cités. Il montre de bonnes capacités à simuler les essais, malgré quelques limitations pour les essais les plus extrêmes.

D'un point de vue expérimental, d'autres chemins de chargement sont en cours d'étude afin d'analyser l'influence du cyclage des sollicitations sur les déformations permanentes ([2]). Le modèle, quant à lui nécessite d'être optimisé en terme de surface de charge et de lois d'écrouissage, pour qu'un minimum d'essais pertinents permette d'identifier les paramètres. L'application aux calculs de structures sous charges statiques et au dimensionnement est envisagée.

## References

- [1] P. CLEC'H et al. Multidirectional behavior of bituminous mixture. In *Proc. of Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields*, pages 377–386, Champaign, Illinois, USA, Juin 2009.
- [2] B. DONGMO-ENGELAND. *Caractérisation des déformations d'orniérage des chaussées bitumineuses*. Thèse de doctorat, ENTPE - INSA, 2005.
- [3] J.V. HECK. *Modélisation des déformations réversibles et permanentes des enrobés bitumineux : application à l'orniérage des chaussées*. Thèse de doctorat, Université de Nantes, 2001.
- [4] A. PRONK. *Revival of the Huet-Sayegh response model - Notes on the Huet-Sayegh rheological model*. RHED-Delft, 2003.
- [5] J. SOHM. *Prédiction des déformations permanentes des matériaux bitumineux*. Thèse de doctorat, SPIGA, Nantes, France, 2011.
- [6] H. TAHERKHANI and A. COLLOP. Compressive uniaxial and triaxial testing of asphaltic mixtures. In *Proc. of 10<sup>th</sup> Int. Conf. on Structural Design of Asphalt Pavements*, p.1, Quebec, August 2006.
- [7] J. VERSTRAETEN. Enrobés bitumineux à haute résistance à l'orniérage par fluage. Technical report, Association Internationale Permanente des Congrès de la Route (AIPCR), 1995.