

ENROBES & MODULES

SAFIR, Bouchaib (LCC), GTR

I- INTRODUCTION :

Le module de rigidité est un indicateur du degré de cohésion au sein de la structure d'un matériau.

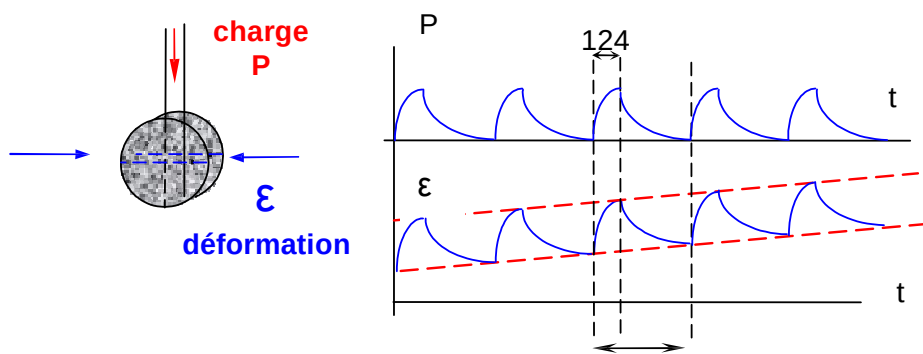
La plupart des matériaux de construction se caractérisent par un module d'élasticité permettant une bonne appréciation de leur comportement mécanique. Dans le cas d'un enrobé bitumineux, ce comportement est fort lié à la température et la fréquence de chargement, du fait de la rhéologie du liant hydrocarboné. L'étude des propriétés de l'enrobé conduit à introduire la notion de module complexe qui se traduit par la norme du module complexe (c.à.d le module de rigidité) et l'angle de phase. Plusieurs méthodes normatives existantes pour déterminer le module des enrobés bitumineux. L'essai de module en traction directe et essai de module complexe en flexion sur éprouvettes trapézoïdales sont parmi les méthodes les plus utilisées. Cet article décrira plus en détail ces deux méthodes d'essais.

Par ailleurs, une corrélation entre les deux méthodes, déjà publiée, sera abordée et fera l'objet d'une application sur un cas concret d'un béton bitumineux spéciale BETOFLEX 0/10 sur un chantier de renforcement. Il s'agit de la RR 509 DPE Taounate.

II- RAPPORT DES PRINCIPES D'ESSAIS DE MODULE COMPLEXE ET MODULE PAR COMPRESSION DIAMETRALE

2-1 Essais de module par traction indirecte :

Le module traduit la résistance d'un matériau à un type de déformation mécanique. L'essai par traction indirecte est réalisé sur éprouvettes cylindriques comme le montre le schéma suivant :



L'essai consiste en un chargement pulsionnel durant 124ms d'un enrobé supposé un matériau homogène et isotrope avec état de contrainte plane. Le module indirect est donné donc par la formule suivante :

$$E = P(u + 0,27) / t \Delta H$$

Avec :

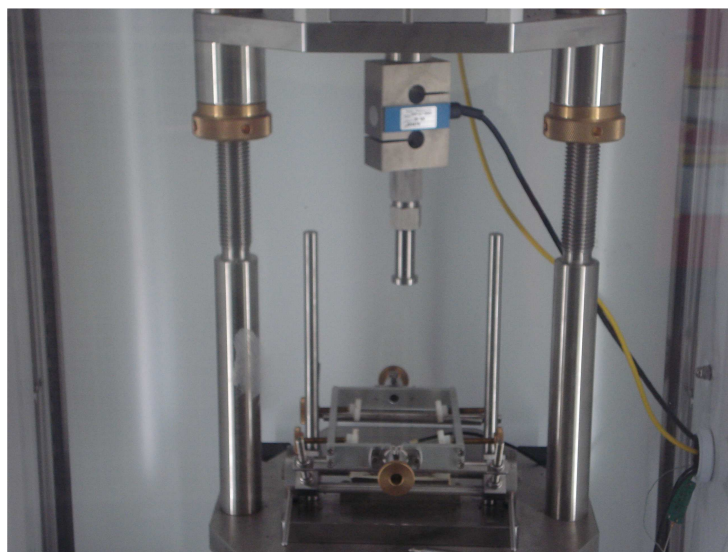
$u = 0,35$ (Coefficient de poisson)

P : Charge (Imposée et mesurée par capteur de force)

T : Epaisseur de l'éprouvette

ΔH : Variation de longueur du diamètre (mesurée par des capteur de déplacement)

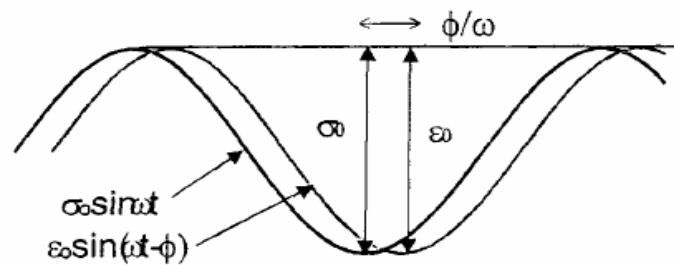
Le module ainsi mesuré concerne la réponse instantané de l'enrobé lors de sa mise en charge, il ne tient pas compte du comportement déferé de l'enrobé en tant que matériau viscoélastique. Donc cet essai sous estime le module complexe qui sera défini par la suite. L'essai de traction indirecte ne peut prétendre en aucun cas remplacé l'essai de module complexe.



2-2 Essais de

L'essai de module complexe sur éprouvettes constitue l'un des essais de base pour la caractérisation des matériaux bitumineux routiers. Cet

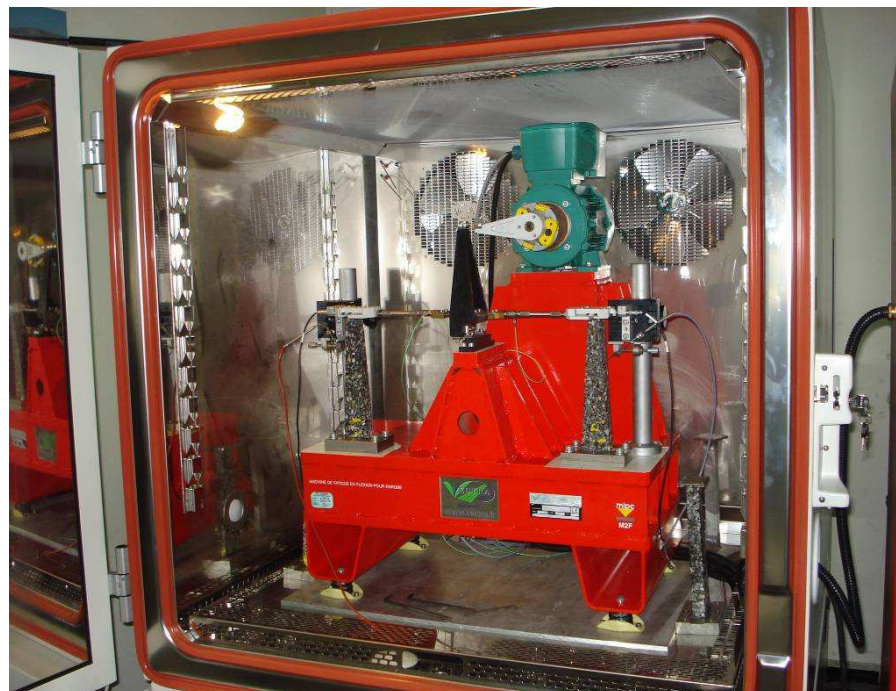
essai est systématiquement réalisé pour fournir les données requises dans les normes produit (module à 15°C, 10 Hz). Il permet d'identifier les propriétés viscoélastiques linéaires des matériaux bitumineux dans leur gamme de fréquence et de température d'utilisation. Les résultats de cet essai permettent ainsi de caler des modèles rhéologiques pour la modélisation des matériaux bitumineux. Il est égal à la somme du module statique et du module de perte du matériau.



Le principe de l'essai est d'effectuer des chargements sinusoïdaux à la tête d'une éprouvette trapézoïdale et mesurer le déphasage. La déformation et la contrainte. Le type de courbe déformation contrainte qu'on trouve est le suivant : Le module complexe est donné par la formule.

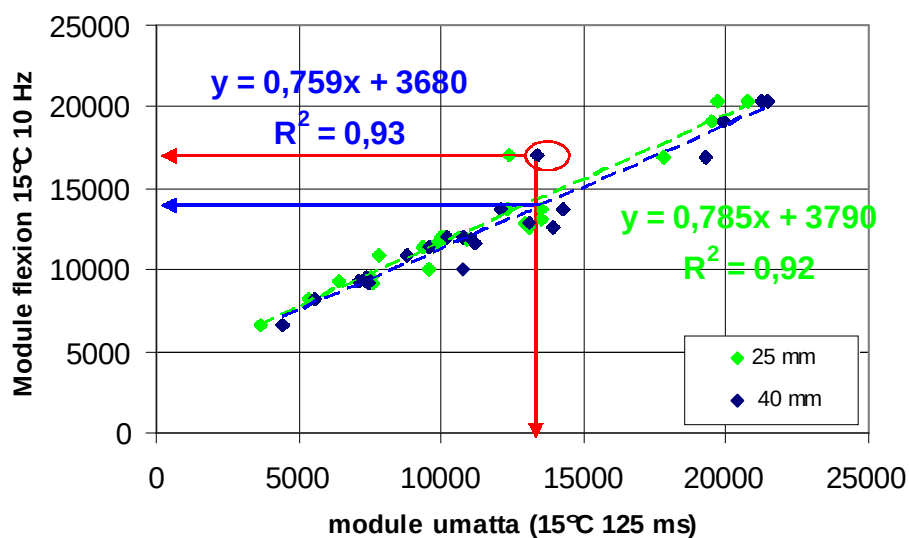
$$E^* = \sigma/\varepsilon = \sigma_0 e^{i\omega t} / \varepsilon_0 e^{i(\omega t - \phi)} = \sigma_0 \sin \omega t / \varepsilon_0 \sin(\omega t - \phi)$$

Ce module complexe est le module exigé par les normes produits puisqu'il décrit mieux le comportement viscoélastique de l'enrobé à une température donnée.



III- CORRELATION ENTRE ESSAIS MODULE COMPLEXE ET MODULE PAR TRACTION INDIRECTE

Plusieurs tentatives ont été menées afin de sortir avec une corrélation entre les deux essais de module complexe sur éprouvettes trapézoïdales et indirect sur éprouvettes cylindriques. Parmi ces corrélations on cite celle décrite dans le graphique suivant :



La corrélation retenue est celle publiée en 2005 dans la revue Générale des Routes et Aérodromes (RGRA). L'équation suivante récapitule cette corrélation :

$$/E^*/= 0,759 E(\text{indirect})+3680$$

Avec un coefficient de corrélation de :

$$R^2= 0,93$$

Nous sommes actuellement entrain de réaliser un programme d'essais des deux types de module a fin d'adopter une corrélation en commun accord avec le ministère de l'équipement.
Le but est d'optimiser le temps et le coût de L'essai de module.

IV- CAS DE LA RR 509 DPE TAOUNATE

4-1 Travaux de renforcement

Les travaux concernés par cet article sont celles du renforcement de la RR509 DPE TAOUNATE par un tapis d'enrobé spéciale BETOFLEX 0/10. Le liant utilisé est un bitume modifié COLFLEX N. Le tableau suivant récapitule les exigences techniques de la fiche produit du BETOFLEX N 0/10 :

ESSAI	BETOFLEX	BBME TYPE 1 NF P 98-141
Essai DURIEZ à 18 °C Rapport r/R (NF P 98-251-1)	0,92	$\geq 0,8$
Essai d'orniérage à 60 °C - 30 000 cycles (NF P 98-253-1)	$\leq 5 \%$	$\leq 10 \%$
Essai de module complexe E en Mpa (15 °C - 10 Hz) (NF P 98-260-2)	$\geq 9\,700$	$\geq 9\,000$
Essai de fatigue $\Sigma\delta$ (10 °C - 25 Hz) (NF P 98-261-1)	$\geq 125\,10^6$	$\geq 110\,10^6$
Essai à la presse à cisaillement giratoire (NF P 98-252)		
% de vides à 10 girations	11,8	≥ 11
% de vides à 80 girations	4,7	4 à 9

Parmi ces exigences on cite l'essai de Module complexe à 15°C et 10 Hz. La valeur minimale demandée est de **9700** MPa. Nous avons réalisé des essais de module par les deux méthodes déjà citées afin de comparer les résultats et juger la validité vis-à-vis du contexte marocain de la corrélation déjà publiée.

4-2 Résultat d'essais de module par les deux méthodes sur BETOFLEX 0/10.

Les essais ont été pratiqués au laboratoire en présence du représentant de maîtrise d'œuvre. L'objectif est de faciliter le contrôle de module et surtout de trouver un moyen de réduire le temps de réalisation de l'essai. Pour information un essai de module complexe par méthode de flexion sur éprouvette trapézoïdale dure en moyenne 20 jours pour obtenir un résultat de contrôle ou d'étude par contre l'essai de module par compression diamétrale nécessite un maximum de 3 jours.

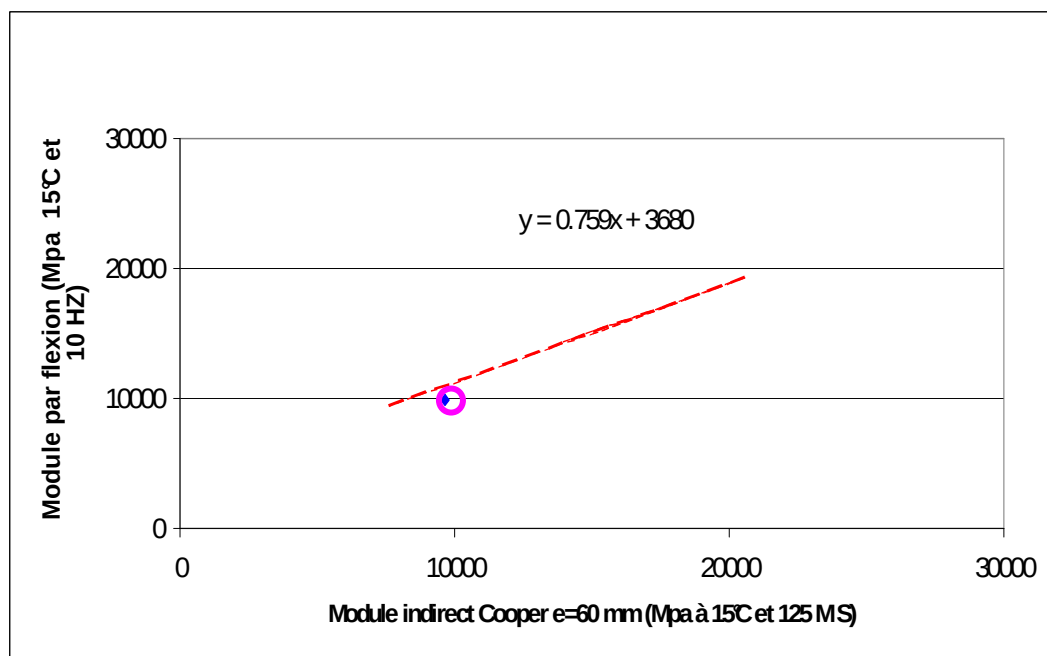
Le tableau suivant récapitule les résultats d'essais :

**Module de rigidité sur BETOFLEX par essai diamétral
(à 15°C et 10 Hz)**

NF EN 12697-26		
Eprouvette n°1	Eprouvette n°2	Eprouvette n°3
8913MPa	10123 MPa	9962MPa
Moyenne = 9666 MPa		

Essai de Module complexe par flexion (à 15°C et 10HZ) NF EN 12697-26
E*= 9887 MPa

Le graphique suivant illustre la position des modules déterminés par rapport à la droite de corrélation déjà citée :



Vue la position de ce contrôle sur le graphique de corrélation cette dernière donne une estimation du module complexe tolérable par rapport à la reproductibilité des essais de Module. Nous avons donc utilisé ladite corrélation pour estimer le module complexe. Le tableau suivant donne les résultats d'essais :

Module Par Compression Diamétrale à (15° C Et 10 Hz)	
Eprouvette n°1	11149 MPa
Eprouvette n°2	9901MPa

Eprouvette n°3	9584 MPa
Eprouvette n°4	13888 MPa
Eprouvette n°5	13294 MPa
Eprouvette n°6	15908 MPa
Moyenne	12287 MPa

Estimation du Module complexe par corrélation à 15°C et 10 Hz

$$E^* = 13006 \text{ MPa}$$

Le produit BETOFLEX 0/10 répond donc aux exigences de la fiche produit par rapport au module complexe (>9700 MPa à 15°C et 10 Hz)

V- CONCLUSION :

L'essai de module complexe par flexion sur éprouvettes trapézoïdales est un essai fondamental pour les études de formulations, les contrôles et le dimensionnement des structures de chaussées.

Par ailleurs, la difficulté et le délai que nécessite cet essai font que l'essai de module par compression diamétrale est un moyen d'estimer le module complexe en passant par une corrélation. L'avantage de l'essai de module par compression diamétrale est la facilité avec un délai de réalisation relativement rapide. La corrélation citée dans cet article reste une estimation du module complexe, néanmoins un programme d'études de recherche est lancé conjointement avec le CNER pour aboutir à une corrélation adaptée au contexte Marocain et couvrant les matériaux hydrocarbonés

usuels. Le résultat de cette recherche fera l'objet d'un autre article après achèvement de ce programme.