

Comportement différé du matériau bois, vers une meilleure connaissance des paramètres viscoélastiques linéaires

Houanou K. A.¹, Foudjet E. A.², Tchéhouali D. A.³

(1) Etablissement : EPAC, Ecole Doctorale Sciences pour l'Ingénieur de l'Université d'Abomey-Calavi, Bénin.
e-mail : agapikh13@yahoo.fr

(2) Directeur de thèse : Professeur Titulaire des Universités, CRESA Forêt-Bois, Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles, Université de Dschang - Cameroun

(3) Encadreur Professionnel sur le terrain : Maître Assistant des Universités, Enseignant-Chercheur à l'EPAC- Bénin

1. Objectif général

Etudier les paramètres rhéologiques du comportement viscoélastique linéaire du bois d'une part et examiner ce comportement dans l'environnement tropical béninois d'autre part, en s'appuyant sur le *Tectona grandis* et le *Diospyros mespiliformis* du Bénin.

2. Objectifs Spécifiques (OS)

OS1 : Modéliser numériquement le comportement viscoélastique linéaire de deux espèces tropicales de bois pour une durée de chargement déterminée ;

OS2 : Etudier l'influence de la durée de chargement sur les paramètres viscoélastiques linéaires ;

OS3 : Etudier la dispersion des paramètres viscoélastiques linéaires ;

OS4 : Etudier le comportement mécanique différé d'une poutre en bois en grandeur d'emploi sous ambiance naturelle abritée.

3. Hypothèse

La maîtrise du comportement différé du matériau bois permettra de mieux l'utiliser dans la construction.

4. Méthodologie

- Dispositions pour l'ensemble des essais

La méthodologie employée pour atteindre l'objectif visé par ce travail est centrée sur des essais de fluage, tant pour les éprouvettes en modèle réduit que pour les poutres en grandeur d'emploi.

- Cas des poutres en modèle réduit

L'essai de fluage est réalisé en sollicitant les éprouvettes à la flexion deux points, la charge appliquée étant fixée à 20 % de la charge de rupture par flexion 4 points. La température du local abritant les expériences est relevée tout au long de l'expérimentation afin de s'assurer de sa

constance. La durée de l'essai par éprouvette a été de 15 heures. La flèche à mi-portée de la poutre est relevée, au moyen d'un comparateur monté sur un socle, toutes les 30 mn. La flèche instantanée est relevée au bout de 15 secondes, période correspondant à la stabilisation de l'aiguille du comparateur. Chaque flèche relevée a été convertie en déformation longitudinale puis en complaisance viscoélastique linéaire.

Ensuite, les valeurs des paramètres viscoélastiques linéaires sont déterminées à l'aide de la méthode des moindres carrés non linéaires appliquées respectivement aux expressions mathématiques de la complaisance viscoélastique linéaire issues d'un modèle de Kelvin-Voigt simple puis d'un modèle de Kelvin-Voigt généralisé à l'ordre 2.

Enfin, des tests statistiques sont réalisés pour valider les modèles numériques développés et définir leur domaine de prédiction. Egalement, grâce au test de Fisher, la signification de chaque modèle ainsi que celle de leur différence ont été mesurées. En vue de démontrer l'influence de la durée de chargement sur les paramètres viscoélastiques linéaires, 14 fenêtres d'observations ont été constituées à partir de la durée de chargement de 15 heures. Quant à la dispersion, elle a été conduite en examinant les observations par éprouvette.

- Cas des poutres en grandeur d'emploi

Les essais de fluage réalisés sur ces poutres sont des essais de flexion 8 points au cours desquels la flèche à mi-portée de chaque éprouvette est relevée au moyen d'un comparateur de course 30 mm et mesurant au 1/100ième de mm. Les mesures des flèches ont été faites sur les fibres comprimées et tendues. Les poutres ont été chargées à 18.27 % de leur contrainte de rupture par flexion 4 points. En vue d'examiner l'influence de la direction du vent sur les comportements viscoélastique linéaire et mécano-sorptif couplés, les poutres ont été disposées

suivant les directions perpendiculaire et parallèle à celle du vent. Les caractéristiques météorologiques du site d'expérimentation, la vitesse et la direction du vent, la température et l'humidité relative de l'air, ont été mesurées à l'aide d'une mini station météorologique.

- Matériel végétal, espèces retenues et conditionnement des éprouvettes

Les espèces retenues pour les essais de laboratoire sont le *Tectona grandis* (Teck) et le *Diospyros mespiliformis* (Ebène). Toutes les éprouvettes confectionnées à partir de ces deux espèces sont conditionnées à un taux d'humidité de 12 % et maintenue constante pendant toute la durée de l'expérimentation. A cet effet, les éprouvettes conçues pour le test de fluage sont soigneusement entourées de film d'aluminium afin de maintenir sous contrôle leur teneur en eau. Au total, 24 éprouvettes sont taillées dans le sens des fils à raison de 12 par espèce.

Les essais sur poutres en grandeur d'emploi ont été réalisés sur une seule espèce notamment le *Diospyros mespiliformis* (Ebène). De dimensions 8cmx14cmx320cm, les poutres sont issues directement des madriers du commerce, sans conditionnement préalable. Huit (8) poutres ont été taillées dans le sens longitudinal des fibres.

- Sites d'expérimentation

Les essais sur éprouvettes en modèle réduit ont été menés au Laboratoire de Génie Civil de l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (Université d'Abomey-Calavi, République du Bénin). Tandis que les essais sur poutres en grandeur d'emploi sont réalisés sous un abri non loin du même laboratoire.

- Normes relatives aux essais de qualification du matériel végétal

Les normes utilisées pour qualifier le matériel végétal sont :

- Norme NF B 51-004 de septembre 1985 pour la détermination de la teneur en eau.
- Norme NF B 51-007 de septembre 1985 pour les essais de compression axiale.
- Norme NF B 51-008 de novembre 1987 pour l'essai de flexion statique 4 points.

- Matériels

- Essai de flexion 2 points

Le dispositif expérimental est composé d'une potence, d'un plateau de suspension des charges de sollicitation et d'un support de comparateur. La partie supérieure de la potence est équipée d'un dispositif d'encastrement constitué de deux plaques métalliques dont l'une est soudée sur la potence et l'autre boulonnée sur

la première. Un comparateur de marque Baker, de résolution 0,01 mm et de course 10 mm, est fixé sur le support de comparateur.

-Essai de flexion 8 points sur les poutres en grandeur d'emploi

Le dispositif d'essai est constitué de douze (12) plots en béton, servant d'appuis pour les poutres, au-dessus desquels sont montés des tubes ronds métalliques de diamètre 4 cm destinés à rendre linéaire l'appui, de douze (12) comparateurs de course maximale 3 cm mesurant au 1/100e de mm, de six (6) supports de comparateurs, de quarante (40) blocs de béton servant de charges de sollicitation, de quatre (4) tiges de suspension de charges, d'une balance de marque KERN, d'un pied à coulisse à affichage digitale de marque Tec hit de capacité 150 mm et de précision 1/100^e et d'une boussole numérique.

- Mesure des données météorologiques du site

Elles sont relevées à l'aide d'une mini station composée d'un collecteur de pluie couplé de capteurs des paramètres du milieu ambiant (température, humidité relative, pression atmosphérique), d'un anémomètre comprenant un ensemble de trois coupelles et un indicateur de direction du vent, puis d'une console digitale qui affiche les valeurs relevées.

- Essai de qualification du bois

Le matériel utilisé pour la détermination des résistances à la rupture en compression axiale et en flexion est constitué essentiellement d'une presse hydraulique multi vitesses de marque IGM dont la gamme de vitesse varie de 0.001 à 50.8 mm/min. D'une résolution de 10 N, la presse hydraulique a une capacité de 50 kN et mesure à ± 1 ‰ près. Elle est composée d'un bâti, d'un capteur de force, d'un afficheur numérique et d'un dispositif approprié d'appuis.

Les teneurs en eau des éprouvettes ont été déterminées à l'aide d'une étuve ventilée de marque IGM (Ingénierie Générale des Mesures, à régulation de température ERO ELECTRONIC intégrée) et d'une balance de marque KERN de capacité 65 kg, de résolution 1 g et de précision +/- 0.3 g.

5. Résultats

RI.1 : Les paramètres viscoélastiques linéaires (modules d'élasticité et viscosité dynamique) des modèles rhéologiques de Kelvin-Voigt simple et généralisé à l'ordre 2 associé au fluage propre des deux espèces tropicales du Bénin (*Tectona grandis* (Teck) et *Diospyros mespiliformis* (Ebène)), sont déterminés.

R1.2 : Le modèle numérique issu du modèle rhéologique à deux éléments de Kelvin-Voigt explique mieux les observations que celui issu du modèle rhéologique à un élément de Kelvin-Voigt.

R1.3 : La différence entre les prédictions des deux modèles numériques est significative.

R1.4 : Les paramètres viscoélastiques du *Diospyros mespiliformis* sont meilleurs que ceux du *Tectona grandis* pour des durées de chargement inférieures à 2h42 mn, alors qu'au-delà, la tendance s'inverse.

R1.5 : Les coefficients de fluage et les modules d'élasticité instantanés des deux espèces choisies, le *Diospyros mespiliformis* et le *Tectona grandis*, sont déterminés.

R2.1 : La durée de chargement a une influence sur les paramètres viscoélastiques linéaires, modules d'élasticité et de viscosité dynamiques, du matériau bois.

R2.2 : Le module de viscosité dynamique est constant pour toute durée du chargement supérieure ou égale à une heure tandis que le module d'élasticité dynamique décroît suivant une loi de type «puissance» $E(t) = at^b$ avec $a > 0$; $b < 0$ puis $t > 0$ ou de type «exponentiel» $E(t) = ae^{bt}$ avec $a > 0$; $b < 0$ puis $t \geq 0$.

R2.3 : La loi de type «puissance» est mieux adaptée pour modéliser le module d'élasticité dynamique en fonction de la durée de chargement.

R2.4 : L'analyse du comportement viscoélastique linéaire du matériau bois pour caractériser son fluage propre se fait efficacement en adoptant le modèle rhéologique de Kelvin-Voigt à condition que la durée du chargement au cours de l'essai de flexion deux points se situe autour de 9 heures.

R3.1 : Les paramètres viscoélastiques linéaires, modules d'élasticité et de viscosité dynamiques, du matériau bois sont normalement distribués et dispersés.

R3.2 : La variabilité est différente d'un paramètre viscoélastique linéaire à l'autre et entre espèce.

R3.3 : La durée de chargement n'a aucune différence significative sur la dispersion des paramètres viscoélastiques linéaires du matériau bois issus d'un modèle à un élément de Kelvin-Voigt contrairement au modèle à deux éléments de Kelvin-Voigt où cette différence est significative pour les paramètres issus d'un élément de Kelvin-Voigt et non pour le second.

R3.4 : La dispersion des paramètres viscoélastiques linéaires du matériau bois devient forte lorsqu'on passe d'un modèle rhéologique de Kelvin-Voigt simple à un modèle de Kelvin-Voigt généralisé d'ordre 2.

R3.5 : Les valeurs caractéristiques des paramètres viscoélastiques du bois sont bien celles qui correspondent au fractile 95 %.

R4.1 : Les comportements viscoélastique et mécano-sorptif couplés d'une poutre en bois dans la zone tendue et dans la zone comprimée sont analogues.

R4.2 : La direction du vent a une influence sur les comportements viscoélastique et mécano-sorptif couplés du matériau bois tant sur les fibres comprimées que sur les fibres tendues.

R4.3 : Les déflexions des poutres orientées perpendiculairement au vent sont plus prononcées que celles des poutres disposées parallèlement au vent.

R4.4 : Le coefficient modificateur k_{def} tiré de l'Eurocode 5 ne convient pas pour les espèces tropicales employées comme élément de structure dans une ambiance climatique tropicale.

6. Discussion

Les résultats obtenus dans ce travail indiquent que l'un des plus vieux matériaux de construction, le bois, possède d'intéressantes caractéristiques insoupçonnées qui restent à découvrir pour mieux maîtriser son utilisation rationnelle ; ce qui le placerait à un niveau privilégié parmi les autres matériaux. Ainsi, ce travail propose une contextualisation de la norme Eurocode 5, en adaptant au moins les coefficients modificateurs k_{mod} et k_{def} aux réalités climatiques africaines.

7. Recommandations

La modélisation numérique du comportement viscoélastique linéaire du bois basée sur de modèles rhéologiques fortement généralisés de Kelvin-Voigt ne constitue pas la meilleure approche.

Les résultats issus de la présente étude permettent de recommander la prise en compte de la direction du vent dans la conception et le dimensionnement des ouvrages en bois. Outre la direction du vent, l'intensité du vent doit être une sérieuse piste de recherche.

Mots clés : *Diospyros mespiliformis*, *Tectona grandis*, comportement différé, viscoélasticité linéaire, modèle numérique, mécano-sorption, direction du vent

Thèse de Doctorat Unique de l'Université d'Abomey-Calavi en Génie Civil dans la spécialité « matériaux et structures » soutenue à l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), le 30 juillet 2014, Abomey-Calavi, Bénin.