
Caractérisation des adhésifs et des performances de goujons-collés sous chargement thermique.

Mathieu VERDET^{1,2}, Alain COINTE¹, Jean-Luc COUREAU¹, Philippe GALIMARD¹, Christine DELISEE^{1,3}, Alexander SALENIKOVICH²

¹ Universités de Bordeaux, I2M, UMR 5295, 351 Cours de la libération, 33400, Talence, France

² Université Laval, Faculté de Foresterie, Géographie, Géomatique, Québec, Canada

³ Bordeaux Sciences Agro / ENITAB, CS 40201, 1 Cours Général de Gaulle, 33175 Gradignan, France

Mis en oeuvre en rénovation comme en construction neuve, les goujons-collés sont utilisés dans les structures bois pour leur capacité à réaliser des assemblages résistants et rigides. Néanmoins, leurs performances sont sensibles à la chaleur. La caractérisation d'une résine époxy (EPX) et d'une colle polyuréthane (PUR) a été réalisée à l'aide d'essais mécaniques dynamiques (AMD) afin d'évaluer l'évolution du comportement élastique et mesurer la température de transition vitreuse Tg sur la plage [30°C ; 120°C]. 66 spécimens goujon-collé implémentant ces deux adhésifs ont ensuite pu être testés en traction à 20°C, 40°C, 50°C et 70°C. Les résultats n'ont pas démontré de corrélation évidente entre les essais dynamiques et les pertes de raideur et de résistance obtenues au niveau des assemblages à haute température. C'est pertes interviennent en amont de Tg. Les structures exposées à la chaleur sont sujettes à des risques aux états limites de service (ELS) et aux états limites ultimes (ELU). En deçà de 40°C, la résine EPX semble plus performante par des pertes de raideur et résistance limitée. La variabilité des déformations observées sur les premiers essais de fluage est encourageante.

Used in reinforcement and new construction, glued in rod connections are one application of structural bonding technology in timber structure and have proved to be very strong and stiff. However, studies have revealed the sensitivity of adhesives to heat. In order to contribute to the ongoing discussions this paper deals with the investigations performed on connections and adhesives under variable temperature conditions. One epoxy (EPX) and one polyurethane (PUR) glues are employed, tested and compared. Dynamic mechanical analysis tests were performed to characterize adhesives. The evolution of elastic behaviour and the glass transition temperature Tg were measured in the range of [30°C;120°C]. 66 specimens of glued in rods were also tested at 20°C, 40°C, 50°C or 70°C. No correlation was found between experiments but both reveal high losses of stiffness and resistance when temperature increases. Consequently, major risks exist for ultimate limit states and serviceability limit states in design. Regarding the results Tg may not be a criterion of failure contrary to available information and EPX seems better than PUR due to its stability for temperature up to 40°C. First creep tests are promising.

MOTS-CLÉS : Goujons-collés, Température, Essais mécaniques dynamiques, époxy, Polyuréthane, Transition vitreuse.

KEY WORDS: Glued-in rods, Temperature, Dynamic mechanical analysis (DMA), Epoxy, Polyurethane, Glass temperature.

1. Introduction

Avec le développement des structures bois de grandes dimensions, les assemblages nécessitent d'être de plus en plus rigides, esthétiques et résistants. Les goujons-collés tirent leurs avantages de la technologie du collage structurel qui permet des assemblages dans le sens du fil du bois, difficulté majeure en construction bois. Durant ces 35 dernières années diverses études ont été menées pour tenter de caractériser la rupture de ce type de connexions. Dû à la nature complexe de cet assemblage multi-matériau, un nombre important de paramètres influents a été identifié. Les états de l'art rédigés par Steiger *et al.* [STE 15] et Tlustochowicz *et al.* [TLU 11] résument les principaux facteurs influents (facteurs géométriques, propriétés des matériaux, configurations de mise en œuvre).

Les techniques des goujons-collés ne sont à ce jour pas incluses au sein de l'eurocode 5 (EC5) [CEN 04]. Néanmoins, différentes propositions de dimensionnement sont disponibles dans la littérature. Les principales formulations sont comparées par Connolly et Mettem [CON 03]. Si la géométrie et les propriétés matériaux sont explicitement pris en compte dans les différentes formulations, l'influence de la température ou de l'humidité n'est pas suffisamment identifiée et prise en considération dans les critères de dimensionnement malgré une sensibilité avérée. Dans leurs travaux, Aicher *et al.* [AIC 98][AIC 02] démontrent que la température du joint de colle suit le régime de température extérieur (variable) avec un faible déphasage et un amortissement limité. Les assemblages peuvent être exposés à des températures significatives. Aicher et Dill-Langer [AIC 01], Lartigau [LAR 15] ainsi que Custodio *et al.* [CUS 09] identifient lors d'essais de caractérisation à court et long termes avec différents adhésifs, des pertes de raideur et de résistance pour une température critique associée à la température de transition vitreuse T_g .

Les performances mécaniques et thermiques des adhésifs sont fortement conditionnées par leur formulation chimique. La calorimétrie différentielle à balayage et l'analyse thermodifférentielle (méthodes thermiques) ou l'Analyse Mécanique Dynamique (AMD) (méthode mécanique) sont disponibles pour évaluer les propriétés thermiques et mécaniques des adhésifs. L'AMD permet en plus de la détermination de T_g de mesurer l'évolution des propriétés mécaniques (storage modulus/loss modulus) sur l'ensemble de la plage de température étudiée. Présentées par Cruz [CRU 06] et Richter [RIC 05], les performances des colles polyuréthane (PUR) et résines époxy (EPX) montrent une grande disparité face à une sollicitation thermique avant même 45°C et un comportement viscoélastique significatif.

Cette article complète les travaux entrepris par Aicher et poursuit ceux de Lartigau [LAR 15] sur les liens entre propriétés matériaux et performances des assemblages goujons-collés sous sollicitation thermique. Il résume les résultats obtenus pour les tests AMD et ceux de goujons-collés (acier) testés en statique instantané pour différentes températures et en fluage. Un adhésif époxy et une colle polyuréthane sont utilisés. L'objectif principal de ces recherches est dans un premier temps de caractériser les performances mécaniques intrinsèques des deux adhésifs afin d'identifier les températures de test à court et long termes pour les assemblages goujons-collés. Dans un second temps, l'objectif est de tenter une corrélation entre l'évolution du module d'élasticité obtenue en AMD et les pertes de raideur mesurées au niveau des assemblages. Effectué en collaboration entre l'université de Bordeaux (France), l'université Laval (Canada), le choix des deux adhésifs vise à répondre aux attentes des deux marchés et à en proposer une comparaison.

2. Caractérisation thermomécanique des adhésifs époxy et polyuréthane

L'analyse par AMD propose une approche mécanique contrairement aux autres méthodes (thermiques) dont l'analyse de la réponse est d'ordre chimique. Cette méthode délivre l'évolution des propriétés mécaniques ainsi que l'ensemble des transitions pour toute la plage de température étudiée. T_g est une des informations.

2.1. Matériaux et méthode

Deux adhésifs sont considérés au sein de ces travaux :

- une résine époxy Sikadur330 (EPX) prescrite par le fabricant pour les goujons-collés en structure bois
- une colle polyuréthane PurebondCR421 (PUR) certifiée jusque 50°C [CEN 13] pour une implémentation de goujons-collés.

Le principe des essais AMD repose sur l'étude de la relation contrainte/déformation liées par le module complexe E^* en régime dynamique (figure 1). Une contrainte ou déformation sinusoïdale est appliquée sur l'échantillon et la déformation ou contrainte complémentaire est évaluée. La réponse du matériau est alors sinusoïdale et de même fréquence. La différence d'amplitude et le déphasage entre la déformation et la

contrainte traduisent les modifications des lois de comportement. Pour une sollicitation en déformation, les signaux sont par exemple de la forme :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin(t\omega) \quad (\text{Chargement appliqué})$$

$$\sigma = \sigma_0 \sin(t\omega + \delta) \quad (\text{Réponse de matériau})$$

avec ω la fréquence, t le temps et δ le déphasage. On peut alors écrire :

$$E^* = \sigma_0/\varepsilon_0 \cdot \exp(i\delta) \text{ ou } i^2 = -1.$$

$$E^* = E' + iE''$$

$$\text{Tan } \delta = E''/E'$$

avec E' le storage modulus, E'' le loss modulus et le rapport $\text{Tan } \delta$ appelé facteur de pertes.

E' représente physiquement le module de Young et l'énergie stockée au sein du matériau. E'' quantifie la dissipation d'énergie et représente la composante visqueuse. $\text{Tan } \delta$ traduit le degré de viscoélasticité du système. $\delta = 0$ correspond au cas parfaitement élastique, $\delta = \pi/2$ rad au cas de viscosité pure. $T_g = \max(\text{Tan } \delta)$.

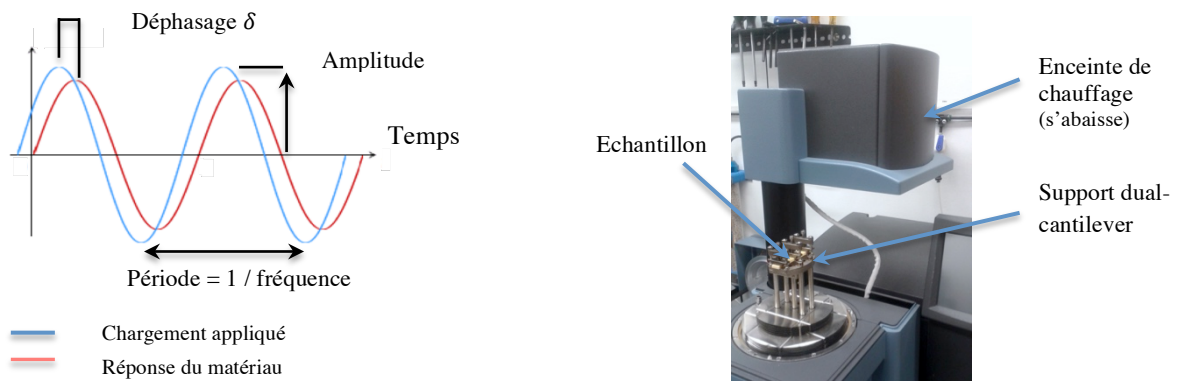


Figure 1 : a) Appareil TA Q800 (AMD), b) Chargement et réponse des essais AMD

L'appareil AMD TA Q800 (TA Instrument, USA) (figure 1) équipé d'un support dual-cantilever a été utilisé et trois échantillons par adhésifs ont été testés à une fréquence de 1Hz conformément aux essais de Richter [RIC 05] afin de pouvoir être comparés avec des tests statiques. Après étude de la sensibilité du système, un taux de déformation de 0,05% pour EPX et 0,1% pour PUR a été établi pour les tests ainsi qu'une consigne de 5°C/min afin de réaliser la montée progressive en température des échantillons sur la plage [30°C ;120°C]. Des moules en téflon ont été utilisés pour limiter les risques de bulles d'air et avoir une géométrie de 55x10x3mm³.

2.2. Résultats et discussions

Une bonne répétabilité a été observée sur l'ensemble de la plage des températures pour chacun des adhésifs. Les écarts relevés sont inférieurs à 1°C. Sur la figure 2a et 2b sont respectivement tracés E' le storage modulus ainsi que le facteur de perte $\text{Tan } \delta$ des deux adhésifs. Le loss modulus E'' , n'est ici pas représenté car interprété directement à travers le facteur de perte.

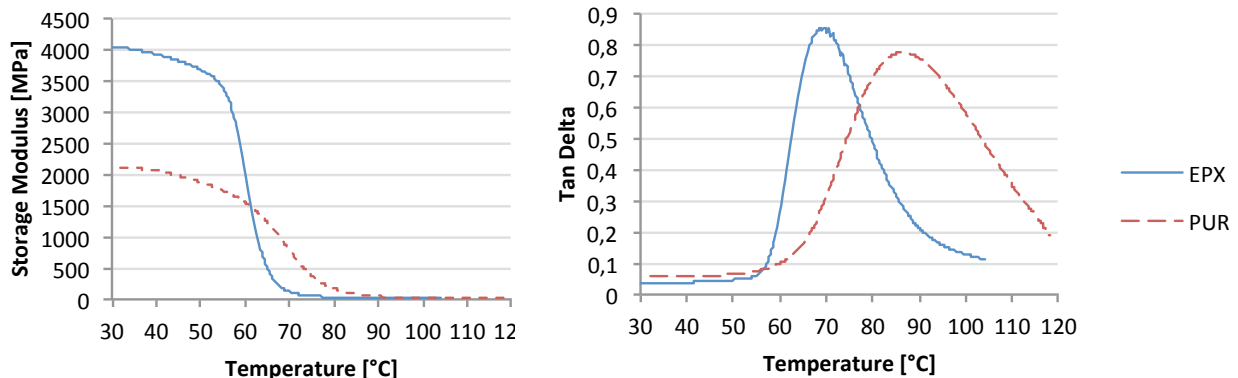


Figure 2. a) Storage modulus, b) Facteur de perte des adhésifs EPX et PUR

La figure 2a et 2b montrent que la température a une influence sur les propriétés mécaniques des deux adhésifs. A 30°C, EPX a un module d'élasticité deux fois supérieur à celui de PUR. À 50°C, limite fixée par la norme EN301 [CEN 13] et l'EC5 [CEN 04] pour l'utilisation des adhésifs structuraux, le module d'élasticité a déjà diminué de 10% pour EPX et 11,6% pour PUR par rapport à sa valeur à 30°C. Au-delà de 60°C les dégradations s'amplifient fortement. Illustrée sur la figure 2b, la T_g vaut respectivement 69°C et 86°C pour EPX et PUR.

La dégradation des propriétés mécaniques des adhésifs peut affecter les performances des connexions. Or, les baisses du module d'élasticité intervenant bien en amont de T_g , celle-ci ne semble pas être un critère suffisant pour les assemblages collés exposés à la chaleur. L'impact est majeur tant au niveau de la conception que du choix des adhésifs. Si T_g favorise PUR, la valeur du module d'élasticité favorise EPX.

Les variations du module d'élasticité des adhésifs en fonction de la température (figure 2a) ont une répercussion sur les performances mécaniques des assemblages goujons-collés. Par conséquent, un risque pour les structures existe aux états limites de services (ELS) comme aux états limites ultimes (ELU). Pour une structure isostatique, les critères de service sont potentiellement remis en cause avec pour conséquence une amplification des déformations. Dans le cadre des configurations hyperstatiques, la distribution des efforts est en revanche modifiée induisant de potentiels problèmes de stabilité et de ruine.

3. Essais de caractérisation d'assemblage goujons-collés sous conditions climatiques variables

Un total de 66 éprouvettes de goujons-collés de petite dimension ont été préparés et testés en statique instantané en configuration pull-pull (traction) à 20°C, 40°C, 50°C et 70°C (figure 3a). Parallèlement plusieurs compagnes d'essais à long terme en fluage (figure 3b) ont été lancées.

3.1. Matériaux et géométrie des éprouvettes

Les goujons-collés sont des assemblages multi-matériaux intégrant des éléments de structure en bois, des transmetteurs d'effort en acier ainsi qu'un adhésif pour réaliser la liaison entre les deux entités. Le bois de structure utilisé dans le cadre de ces travaux est du lamellé-collé « Nordic Lam » réalisé à partir d'épinette noire (*Picea mariana*), essence rependue au Québec. Les transmetteurs d'effort sont ici des tiges filetées acier de grade 8.8 [TC 13] afin de favoriser l'ancrage mécanique et forcer la rupture au sein des éléments bois. Les deux adhésifs considérés sont ceux caractérisés en AMD.

Chaque éprouvette de bois extraite des pièces de lamellé-collé est usinée afin d'obtenir une section de 50x50mm² et une hauteur de 250 mm, garantissant la non-interaction des goujons à chaque extrémité et le respect des règles de pinces actuelles [TLU 11]. Les deux goujons de diamètre 8mm sont introduit à l'aide d'un perçage étagé (corps de 12 mm et pointe de 8 mm) et d'une bague de centrage. L'adhésif est inséré à l'aide d'une petite cheminée de diamètre 4 mm perpendiculaire au joint comme illustré sur la figure 3c.

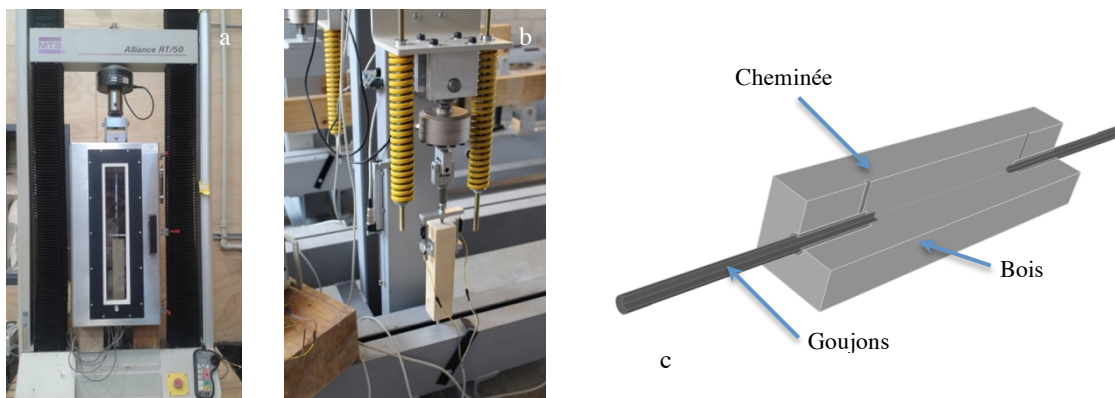


Figure 3. a) Tests pull-pull en température, b) Tests de fluage, c) Spécimens

3.2. Méthodes

Suite aux résultats obtenus en AMD, quatre températures ont été retenues pour les tests de caractérisation à court terme : 20°C correspondant à la température de référence au sein des tests normatifs, 40°C un point

intermédiaire en amont des fortes dégradations observées en AMD, 50°C qui coïncide avec la limite de l'EC5 [CEN 04] et CSA086 [CCB 07] puis 70°C point d'inflexion de PUR et T_g de EPX. Pour les essais de fluage, deux types de conditionnement sont pris en considération :

- contrôlés en température et humidité (20°C/65%HR et 50°C/85%HR)
- variable (classe de service de type 2)

Afin de répartir les éprouvettes en lot, un tri par densité a été effectué (moyenne de 560Kg.m⁻³, COV 3%).

Après fabrication, toutes les éprouvettes ont été stockées en chambre climatique à 20°C et 65% d'humidité relative. Afin d'atteindre les températures de test souhaitées, les éprouvettes ont été montées progressivement en température en deux étapes. Celles-ci ont tout d'abord chacune leur tour été placées dans un four puis transférées par la suite sur une presse MTS Alliance RT50 équipée d'une enceinte régulée en température afin d'être instrumentées, stabilisées en température puis testées comme illustré sur la figure 3a. Afin d'établir le temps requis pour chacune des étapes, des thermocouples ont été fixés à l'extrémité de goujons et introduits en fond de joint (point le plus long à chauffer) sur des éprouvettes dédiées.

L'humidité ne pouvant être régulée durant le processus de montée en température durant les tests, chaque extrémité a préalablement été enduite d'une émulsion de cire afin de limiter les pertes en eau. Après essais, un échantillon de bois a alors été extrait du centre de chaque éprouvette (référence d'ambiance) et de chaque extrémité (point le plus sec) pour déterminer l'humidité moyenne et évaluer le gradient maximum au sein du spécimen. L'ensemble des éprouvettes a été testé avec un taux d'humidité des bois de 12% +/- 1% (Contrôle).

Dans le cadre des essais de traction, le chargement est piloté en déplacement à une vitesse de 0.5mm.min⁻¹. À 20°C, la rupture est ainsi obtenue entre 3 et 5 min comme prescrit dans la norme EN 408 [CEN 12]. Pour les autres températures, cette même vitesse a été conservée afin de produire des résultats comparables. Dans le cadre des essais de fluage, le chargement est constant. Les éprouvettes testées en conditionnement contrôlé sont chargées à 10kN, celles testées en conditionnement variable à 12kN. La durée des tests varie de 1 à 2 mois suivant l'adhésif le temps d'atteindre le fluage secondaire.

Le principe d'instrumentation utilisé est similaire pour les deux essais. A chaque extrémité, deux capteurs potentiométriques MM8 de l'entreprise Mégatron ont été fixés dans le bois de part et d'autre de l'éprouvette afin d'évaluer le déplacement moyen de la tige par rapport au bois (Figure 3b). Les capteurs sont fixés à 50mm de l'extrémité, la plaque acier à 13mm. L'ensemble des déplacements ainsi que la force appliquée sont enregistrés au cours des essais.

3.3. Résultats et discussions

3.3.1. Essais de traction statique instantanés

Sur la figure 4 sont tracés des courbes force/déplacement représentatives des résultats des essais de traction obtenus pour chacun des adhésifs aux différentes températures. Les tableaux 1 et 2 détaillent les valeurs de résistance et de raideurs obtenus pour les tests statiques instantanés des assemblages goujons collés.

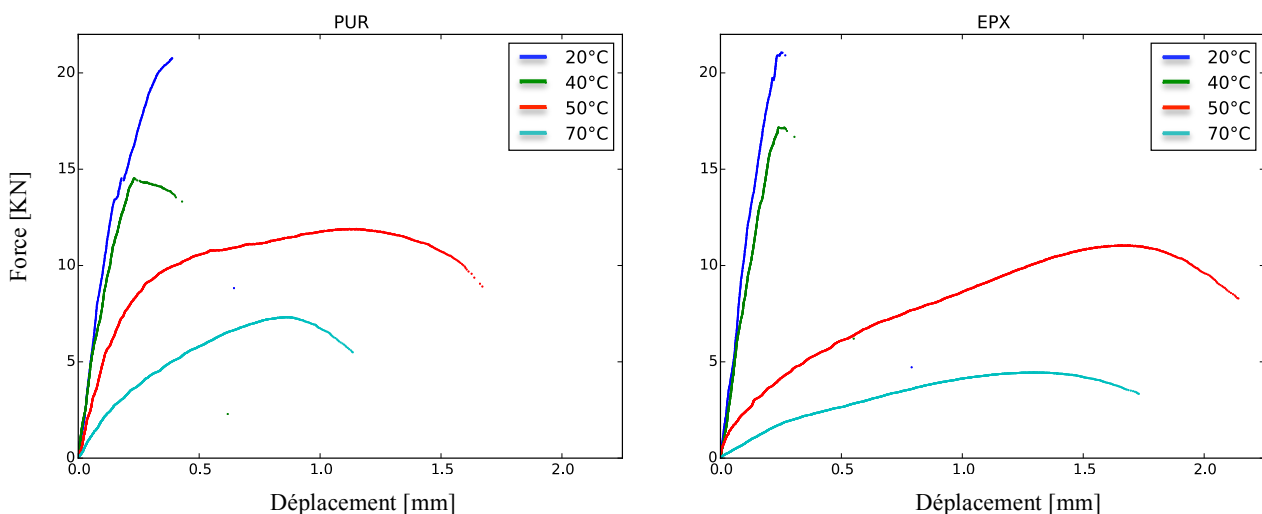


Figure 4. Courbes typiques force/déplacement

Pour les deux adhésifs, des pertes de raideurs et de résistances au niveau des assemblages sont observées. À 20°C comme à 40°C, les assemblages ont une loi de comportement quasi-fragile avec une rupture cohésive localisée dans le bois. Pour des températures supérieures à 40°C, le mode de rupture est modifié et localisé dans l'adhésif.

Tableau 1. Raideurs des éprouvettes goujons-collés en fonction de la température

	PUR			EPX		
	Nombre d'éprouvettes	Raideur (kN/mm) (COV)	Ecart par rapport à 20°C	Nombre d'éprouvettes	Raideur (kN/mm) (COV)	Ecart par rapport à 20°C
20°C	12	95 (6%)	0%	12	108 (12%)	0%
40°C	9	72 (17%)	25%	9	88 (6%)	19%
50°C	9	53 (22%)	44%	11	27 (24%)	75%
70°C	11	19 (73%)	80%	10	6 (8%)	94%

Les raideurs détaillées dans le tableau 1 sont estimées à l'aide d'une régression linéaire entre 10% et 50% de la charge de ruine (Elimination des phénomènes de mise en place en début d'essai et plage linéaire commune aux éprouvettes maximale). Seuls les essais de EPX à 50°C dérogent à ces calculs pour cause de perte de linéarité précoce à partir de 20%. Pour PUR, une décroissance quasi linéaire de la raideur le long de l'intervalle de température est obtenue. A contrario, la raideur des assemblages EPX est moins impactée pour des températures inférieures à 40°C. Pour des températures supérieures, les dégradations de la raideur sont fortement amplifiées.

Sur le tableau 2 sont détaillées les charges de ruine. Une décroissance quasi linéaire de la charge de ruine le long de l'intervalle de température est retrouvée pour PUR. Pour EPX la détérioration de la résistance des assemblages le long de l'intervalle de température est moins impactée que pour la raideur.

Tableau 2. Force ultime des éprouvettes goujons-collés en fonction de la température

	Nombre d'éprouvettes	Force ultime (kN) (COV)	Ecart par rapport à 20°C	Nombre d'éprouvettes	Force Ultime (kN) (COV)	Ecart par rapport à 20°C
	20°C	12	21 (9%)	0%	12	19 (11%)
40°C	7	15 (9%)	28%	9	17 (13%)	9%
50°C	8	12 (14%)	44%	11	11 (9%)	40%
70°C	11	7 (29%)	67%	10	5 (8%)	76%

Comparativement aux résultats obtenus en AMD, les pertes de raideur enregistrées au niveau des assemblages apparaissent pour des températures plus faibles que pour les adhésifs. D'un autre côté, les différences de raideur entre EPX et PUR sur les assemblages sont atténuées par rapport aux écarts de module d'élasticité relevés en AMD. Le lien entre les deux échelles n'est donc pas évident.

Un impact de la température sur les performances des goujons-collés est constaté : modification du mode de rupture, pertes de raideur et pertes de résistance. Les craintes soulevées lors des essais AMD semblent donc se confirmer. Avec l'augmentation de la température, les structures sont exposées à des risques avec un non respect des critères de dimensionnement. Les pertes de raideurs influent sur les ELS, les pertes de résistance sur les ELU (risques de déformations et de ruines). Au sein de l'eurocode 5 [CEN 04], on note par exemple une dégradation des performances mécaniques d'environ 30% est considérée pour les assemblages entre les ELS et ELU. Ce taux de détérioration est ici obtenu avant même 50°C pour la résistance comme la raideur.

Finalement, pour EPX, ces résultats (plus pénalisants) diffèrent fortement de ceux obtenus par Lartigau [LAR 15] pour des éprouvettes goujons-collés en configuration pull-compression. L'hypothèse la plus probable est l'humidité et la température non contrôlées durant les essais. Les courbes de fluage représentant les éprouvettes testées en conditionnement variables sur la figure 5 semble en accord avec cette hypothèse aux vus des variations conjointes de déplacements et d'humidité mesurées.

3.3.2. Essais de fluage

La figure 5 illustre les tout derniers résultats issus des campagnes d'essais en fluage pour un environnement de référence et un environnement variable à l'air libre de classe de service 2 (encore en cours).

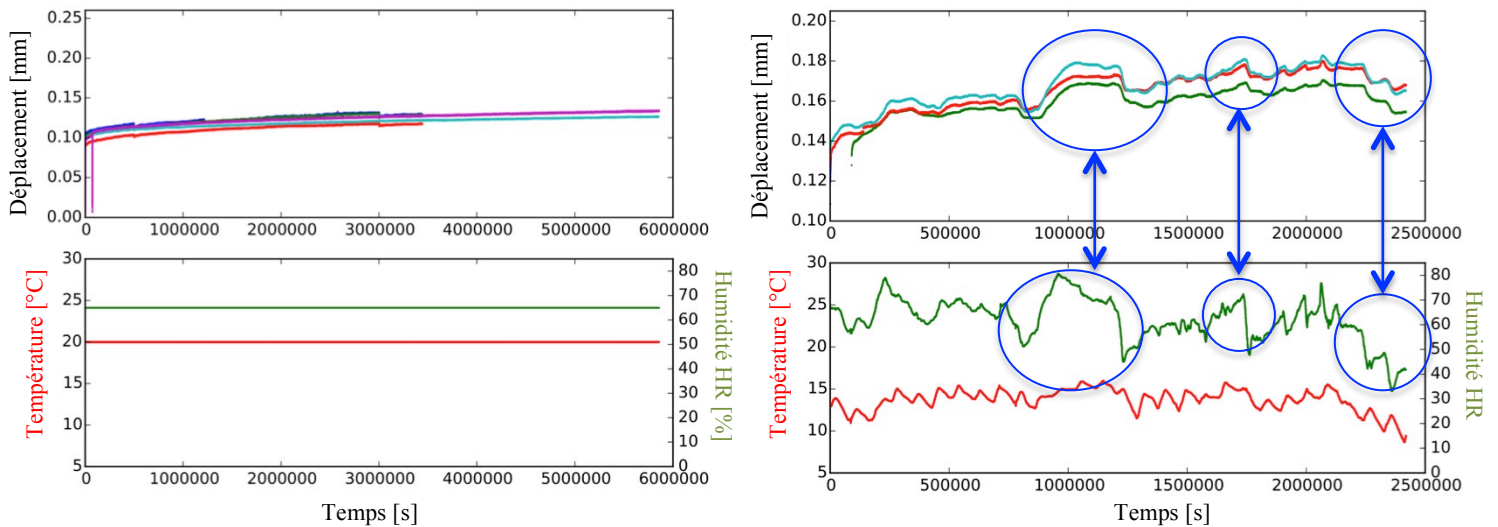


Figure 5. Essais de fluage sur éprouvettes EPX. a) Environnement régulé, b) Environnement classe 2

Si les résultats n'ont encore pu être étudiés en détail, les premiers éléments sont d'ores et déjà observables. Après une période de fluage primaire, les déformations se stabilisent rapidement avec des déplacements inférieurs à 0,2 mm. En régime régulé comme variable, les éprouvettes EPX semblent répondre d'une façon très semblable au chargement constant (allure de courbe) ce qui n'est pas le cas des éprouvettes PUR non représentées dans ce document. Comme exposé dans la partie dédiée aux protocoles, les deux expérimentations ne sont pas directement comparables. Néanmoins, l'humidité et/ou la température ont un rôle évident sur le fluage de l'assemblage. Un traitement des résultats sous forme de fluage relatif est envisagé.

En terme de structure, ces résultats semblent favoriser l'utilisation de EPX. Néanmoins, au cours des campagnes réalisées à 12 kN, soit environ 65% de la charge de ruine, plusieurs ruptures sont intervenues en moins de 1 mois. Les quelques essais effectués à des charges supérieures (75% et 85%) ont par ailleurs vu ce phénomène considérablement amplifié. Une étude de l'influence du taux de chargement doit être menée pour répondre de façon précise à cette problématique. Prochainement, des essais de fluage sous condition de température élevée (régulée à 50°C) sont programmés afin d'établir si le comportement observé est stable pour des températures usuelles de service. Une amplification des déplacements est attendue.

4. Conclusion

Les essais réalisés ont montré les effets de la température sur les assemblages goujons-collés : modification du mode de rupture, pertes de raideur et pertes de résistance.

Pour les deux adhésifs considérés, deux plages de température sont distinguables. Avant 40°C, le mode de rupture est quasi-fragile avec une rupture localisée dans le bois et des pertes de raideurs significatives. En revanche, les pertes de résistance diffèrent entre les deux adhésifs : celles de EPX restent limitées à 10% tandis que celles de PUR augmentent linéairement et s'élèvent à 28%. Après 40°C, les propriétés mécaniques de EPX s'effondrent contrairement à PUR qui reste sur une tendance linéaire. Le mode de rupture est modifié et localisé dans l'adhésif. En conséquence, l'absence de prise en compte de la température risque d'engendrer un dépassement des critères ELS et ELU. Au vu des dégradations observables aux températures de service usuelles des bâtiments et des problématiques liées au feu, une conception isolant les assemblages de toute source de chaleur semble incontournable. La problématique de l'influence de l'humidité et de ses variations est aussi soulevée.

Les essais AMD n'ont pas permis de mettre en évidence un lien entre échelle matériaux et assemblage. Les températures des premières dégradations des performances des assemblages interviennent bien en amont de celles mesurées pour les adhésifs. De plus, T_g , souvent utilisée comme critère de choix des adhésifs, ne semble

pas être un critère pertinent dans le cadre des assemblages goujons collés. Ces éléments remettent en cause la certification des adhésifs jusqu'à 50°C.

Les récents résultats issus des essais de fluage illustrent eux aussi le rôle que jouent la température et l'humidité dans le comportement à long terme de l'assemblage (fluage). Pour EPX, les premières données montrent une faible variabilité au niveau des déplacements de fluage des assemblages (limités). Néanmoins, plusieurs ruptures sont apparues au cours des campagnes réalisées (taux de charge de 65%). Les résultats concernant PUR sont encore limités mais semblent moins favorables. Le traitement des résultats ainsi que les campagnes à venir permettront d'affiner ces premières tendances.

5. Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'Agence Nationale de la Recherche pour sa contribution à travers le projet Xyloplate, Equipex XYLOFOREST (ANR-10-EQPX-16).

6. Bibliographie

[AIC 98] AICHER S., WOLF M., DILL-LANGER G. « Heat flow in a glulam joist with a glued-in steel rod subjected to variable ambient temperature », *Otto-Graf*, 9 185–204.

[AIC 01] AICHER S., DILL LANGER G. « Influence of moisture, temperature and load duration on performance of glued-in rods », *Rilem Symp, Jt, Timber Struct*, 44.

[AIC 02] AICHER S., KALKA D., SCHERE R. « Transient temperature evolution in glulam with hidden and non-hidden glued-in steel rods », *Otto Graph J*, 13 199-214.

[CCB 07] Conseil canadien du bois. « Manuel de calcul des charpentes en bois 2005 [i.e. 2007] », Ottawa, Conseil canadien du bois.

[CEN 13] CEN, « EN 301 - Adhesives, phenolic and aminoplastic, for load-bearing timber structures - Classification and performance requirements ».

[CEN 12] CEN, « NF EN 408/IN1 - Structures en bois - Bois de structure et bois lamellé-collé - Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques ».

[CEN 04] European Committee for Standardization (CEN) « Eurocode 5: design of timber structures, EN 1995 », 2004.

[CON 03] CONNOLLY T., METTEM C.J. « Development of Eurocode-type design rules for axially loaded bonded-in rods », *LICONS*, 2003.

[CRU 06] CRUZ H., CUSTODIO J. « Thermal performance of epoxy adhesives in timber structural repair » Portland, USA.

[CT 13] Technical Council, « ISO 898-1:2013 - Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation en acier au carbone et en acier allié -- Partie 1: Vis, goujons et tiges filetées de classes de qualité spécifiées -- Filetages à pas gros et filetages à pas fin ».

[CUS 09] CUSTODIO J., BROUGHTON J., CRUZ H. « A review of factors influencing the durability of structural bonded timber joints », *Int. J. Adhes. Adhes*, 29, 173–185.

[LAR 15] LARTIGAU J., COUREAU J.-L., MOREL S., GALIMARD P., and MAURIN E. "Effect of temperature on the mechanical performance of glued-in rods in timber structures." *Int. J. Adhes. Adhes*. 57, 79–84.

[RIC 05] RICHTER K., STEIGER R. « Thermal Stability of Wood-Wood and Wood-FRP Bonding with Polyurethane and Epoxy Adhesives », *Adv. Eng. Mater.* 7, 419–426.

[STE 15] STEIGER R., SERRANO E., STEPINAC M., RAJIC V., O'NEILL C., MCPOLIN D., WIDMANN R. « Strengthening of timber structures with glued-in rods ». *Constr. Build. Mater.* 97, 90–105.

[TLU 11] TLUSTOCHOWICZ, G., SERRANO, E., STEIGER, R. « State-of-the-art review on timber connections with glued-in steel rods », *Mater. Struct.* 44, 997–1020.